

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

**Vliv geometrie nástroje na jeho trvanlivost**

Influence of Geometry on Cutting Tool Durability

Student:

Jiří Krejsek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Krejsek**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Vliv geometrie nástroje na jeho trvanlivost**  
**Influence of Geometry on Cutting Tool Durability**  
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza a rozbor dané problematiky.
3. Návrh a příprava experimentální činnosti.
4. Zpracování naměřených dat a jejich vyhodnocení.
5. Závěr a doporučení.

Seznam doporučené odborné literatury:

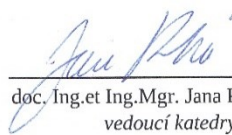
- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovém obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

  
doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15. 5. 2017

Jiří Hryš  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému SŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 15.5.2017.....

Jiří Krejsek  
.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Krejsek

Adresa trvalého bydliště autora práce: Telecí 227, Telecí, 569 94

### **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

KREJSEK, J. *Vliv geometrie nástroje na jeho trvanlivost: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 58 s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá porovnáním rozdílných geometrií frézovacích nástrojů v podmínkách společnosti Pramet Tools s.r.o. V úvodu je popsána obecná charakteristika rovinného a kopírovacího frézování spolu s charakteristikou geometrie nástroje a popisu trvanlivosti a opotřebení břitu nástroje. V další části této práce je popsána příprava a provedení experimentálních zkoušek nástrojů, konkrétně se jedná o funkční zkoušky obrábění a zkoušky trvanlivosti. Poslední část práce je zaměřena na shrnutí a vyhodnocení naměřených hodnot jednotlivých zkoušek, na základě kterých je stanoven závěr práce.

Klíčová slova: frézovací nástroje, Pramet Tools, frézování, geometrie nástroje, trvanlivost, opotřebení, funkční zkoušky, zkoušky na trvanlivost.

### **ANNOTATION TO BACHELOR THESIS**

KREJSEK, J. *Influence of geometry on cutting tool durability: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2017, 58 p. Thesis head: Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

The aim of this bachelor thesis is to compares different geometries of machining milling tools in conditions set by Pramet Tools s.r.o. company. The introduction part describes general characteristics of planar and profile milling, tool geometry, durability and wear endurance. Next part of the thesis describes test preparation, machining characterization and durability trials. The aim of the last part is summary of all results, post processing and conclusion of the bachelor thesis.

Keywords: milling tools, Pramet Tools, milling, tool geometry, tool endurance, tool durability, tool wear, characterization trials, durability trial, wear endurance.

# Obsah

Obsah .....	6
Seznam použitých zkratk .....	7
Úvod.....	9
1 Úvod do problematiky a charakteristika frézování .....	10
1.1. Rovinné frézování .....	10
1.2. Kopírovací frézování.....	13
1.3. Rozdělení konstrukčních materiálů pro obrábění dle normy ISO 513.....	15
2 Rozbor a analýza dané problematiky .....	16
2.1. Základní charakteristika nástroje .....	16
2.2. Charakteristika VBD .....	17
2.3. Základní charakteristika obráběného materiálu .....	19
2.4. Geometrie nástroje – úhly nástroje .....	20
2.5. Trvanlivost břitu nástroje .....	23
2.6. Opotřebení břitu nástroje.....	25
2.7. Kritéria opotřebení .....	32
3 Návrh a příprava experimentální činnosti.....	34
3.1. Popis (analýza) nástrojů .....	34
3.2. Experimentální zkouška .....	36
3.3. Strojní vybavení pro zkušební testy .....	36
3.4. Řezné podmínky pro funkční zkoušky a zkoušky trvanlivosti .....	37
3.4.1. Řezné podmínky pro funkční testy .....	37
3.4.2. Řezné podmínky pro zkoušky trvanlivosti .....	42
4 Zpracování naměřených dat a jejich vyhodnocení .....	43
4.1. Funkční zkoušky obrábění .....	43
4.2. Zkoušky trvanlivosti.....	50
Závěr a doporučení .....	54
Poděkování.....	56
Použitá literatura .....	57
Seznam příloh .....	58

## Seznam použitých zkratek

<b><i>Značení:</i></b>	<b><i>Vysvětlení:</i></b>	<b><i>Jednotka:</i></b>
<b>A</b>	čtvrtina délky opotřebení nejvíce vzdálená od rádiu nástroje	[mm]
<b>A<sub>5</sub></b>	tažnost	[%]
<b>A<sub>a</sub></b>	hlavní hřbet břitu nástroje	[-]
<b>A<sub>a'</sub></b>	vedlejší hřbet břitu nástroje	[-]
<b>A<sub>γ</sub></b>	čelo břitu nástroje	[-]
<b>B</b>	oblast přímé části ostří	[mm]
<b>B<sub>1</sub></b>	šířka obráběného materiálu	[mm]
<b>C</b>	oblast poloměru ostří	[mm]
<b>CNC</b>	číslicově řízené obráběcí centrum	[-]
<b>C<sub>T</sub></b>	konstanta závislá na materiálu obrobku	[-]
<b>D</b>	průměr frézy	[mm]
<b>D<sub>a</sub></b>	průměr neobrobené plochy	[mm]
<b>D<sub>ef</sub></b>	efektivní průměr frézy	[mm]
<b>D<sub>i</sub></b>	vnitřní průměr neobrobené plochy	[mm]
<b>D<sub>w</sub></b>	průměr obrobené plochy	[mm]
<b>HRB</b>	tvrdost podle Brinella	[-]
<b>HRC</b>	tvrdost podle Rockwella	[-]
<b>K</b>	řezivost nástroje	[%]
<b>KB</b>	šířka výmolu	[μm]
<b>Kf</b>	vzdálenost okraje výmolu od hrany břitu	[μm]
<b>KM</b>	vzdálenost středu výmolu	[μm]
<b>KT</b>	hloubka výmolu	[μm]
<b>KV</b>	nárazová práce	[J]
<b>N</b>	oblast mimo kontakt nástroje a obrobku (1-2 mm za ostřím)	[mm]
<b>P01</b>	prototyp prvního nástroje (20E2R029A20-SRC10-C-P01)	[-]
<b>P02</b>	prototyp druhého nástroje (20E2R029A20-SRC10-C-P02)	[-]
<b>Ps</b>	nástrojová rovina ostří	[-]
<b>R</b>	poloměr zaoblení řezné hrany	[μm]
<b>Ra</b>	parametr drsnosti – střední aritmetická úchylka profilu	[mm]
<b>Re</b>	mez kluzu	[MPa]

<b>R<sub>m</sub></b>	mez pevnosti v tahu	[MPa]
<b>R<sub>z</sub></b>	parametr drsnosti povrchu – největší výška profilu	[mm]
<b>T</b>	trvanlivost	[min]
<b>VB</b>	opotřebení	[mm]
<b>VB<sub>A</sub></b>	průměrné opotřebení v oblasti A	[μm]
<b>VB<sub>B</sub></b>	průměrné opotřebení přímé části ostří	[μm]
<b>VB<sub>Bmax</sub></b>	maximální opotřebení přímé části ostří	[μm]
<b>VB<sub>C</sub></b>	průměrné opotřebení v oblasti špičky nástroje	[μm]
<b>VBD</b>	vyměnitelná břitová destička	[-]
<b>VB<sub>k</sub></b>	kritické opotřebení	[mm]
<b>VB<sub>N</sub></b>	opotřebení ve formě vrubu	[μm]
<b>a<sub>e</sub></b>	pracovní záběr při frézování – radiální hloubka řezu	[mm]
<b>a<sub>p</sub></b>	hloubka záběru třísky – axiální hloubka řezu	[mm]
<b>d</b>	průměr kruhové vyměnitelné břitové destičky	[mm]
<b>e</b>	vzdálenost osy frézy od středu obrobku	[mm]
<b>f<sub>min</sub></b>	minutový posuv	[mm . min <sup>-1</sup> ]
<b>f<sub>z</sub></b>	posuv na zub	[mm]
<b>m</b>	exponent charakterizující vlastnosti řezného nástroje	[-]
<b>n</b>	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
<b>t</b>	čas	[min]
<b>u</b>	standardní nejistota	[-]
<b>v<sub>c</sub></b>	řezná rychlost	[m . min <sup>-1</sup> ]
<b>v<sub>f</sub></b>	posuvová rychlost	[mm . min <sup>-1</sup> ]
<b>γ<sub>o</sub></b>	úhel čela v ortogonální rovině	[°]
<b>γ<sub>f</sub></b>	radiální úhel čela – v nástrojové rovině boční	[°]
<b>γ<sub>p</sub></b>	axiální úhel čela – v nástrojové rovině zadní	[°]
<b>κ<sub>r</sub></b>	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
<b>λ<sub>s</sub></b>	úhel sklonu ostří	[°]



# Úvod

V současné době představuje frézování, ať už jednoduchých nebo tvarově složitých výrobků, jednu z nejdůležitějších oblastí obrábění a je tak jeho nezbytnou součástí. Obrábění je technologický proces, při kterém dochází ke vzniku přesně požadovaných tvarů a rozměrů výrobků. To způsobuje, že jsou kladeny velké nároky na nástroje, aby byly schopny dodržovat předepsanou kvalitu obrobené plochy a rozměry součástí, a to i za předpokladu, že bude dosaženo vysoké produktivity práce, co největší životnosti nástroje a co nejmenších požadovaných nákladů. A proto se v současné době technologie obrábění a geometrie nástrojů musí neustále zlepšovat a vyvíjet.

Experimentální část bakalářské práce byla provedena ve spolupráci se společností Pramet Tools s.r.o. v Šumperku. Tato firma se specializuje na výrobu, vývoj a prodej řezných nástrojů pro obráběcí operace, zejména pak na obráběcí nástroje v podobě vyměnitelných břitových destiček, které jsou v současné době nejčastěji vyráběny ze slinutých karbidů.

Cílem této bakalářské práce je porovnání trvanlivostí vyměnitelných břitových destiček uložených v prototypch předem vyrobených frézovacích nástrojů, které se liší svojí geometrií lůžka. Hodnoty pro porovnání byly získány ze zkoušek trvanlivosti, kde je základem kontrola opotřebení vyměnitelné břitové destičky vždy po uplynutí stanoveného intervalu, kdy je nástroj v záběru, a to až do doby, kdy se opotřebení vyměnitelné břitové destičky dostane na předem stanovenou hodnotu nebo uplyne celkový stanovený čas. Dále se porovnávají vytvořené drsnosti povrchů, které tyto nástroje za určitých řezných podmínek vytvoří, a jakého zatížení vřetene bude při frézování za těchto podmínek dosaženo. Pro jejich zjištění byly provedeny funkční zkoušky, které spočívají v měření parametrů drsnosti, a to při několika různých stanovených řezných podmínkách. Měřené parametry drsnosti jsou  $R_a$  a  $R_z$ . Zatížení vřetene je měřeno přímo na CNC centru. Pro kontrolu byly vytvořeny při funkčních zkouškách i diagramy utváření třísek.

V této bakalářské práci jsou porovnány dva prototypy frézovacích nástrojů s označením 20E2R029A20-SRC10-C-P01 a 20E2R029A20-SRC10-C-P02 vyrobeny v podniku Pramet Tools s.r.o.. Jedná se o stopkové frézy s kruhovými vyměnitelnými břitovými destičkami. Oba nástroje mají dvojité negativní geometrii, což znamená, že je radiální i axiální úhel čela negativní. Rozdíl geometrií těchto dvou nástrojů je v radiálním úhlu čela.

# 1 Úvod do problematiky a charakteristika frézování

Frézování patří mezi velmi rozšířené metody obrábění, které se provádí dvěma na sebe vázanými pohyby. Největší předností je poměrně velká výkonnost při velmi dobré kvalitě obrábění, velké přesnosti rozměrů a flexibilitě při obrábění tvarově složitých obrobků. Tuto metodu nejčastěji používáme pro výrobu rovinných, rotačních a tvarových ploch. Dále se také frézování používá pro obrábění drážek různých profilů, závitů, šikmých ploch a obrábění ozubení. [1,4]

## 1.1. Rovinné frézování

U rovinného frézování je tříska odebírána pomocí břitů rotujícího nástroje tzv. frézou. Při frézování je hlavním pohybem rotační pohyb, který vykonává nástroj. Vedlejším pohybem je pak posuv, který je přímočarý, nebo díky moderním strojům mohou být posuvné pohyby v dnešní době realizovány plynule ve všech směrech, a je vykonáván obrobkem. Řezný proces je přerušovaný, a to z toho důvodu, že každý zub odebírá krátké třísky proměnlivé tloušťky. [1]

Z hlediska polohy osy nástroje k obráběné ploše se frézování rozlišuje na: [1]

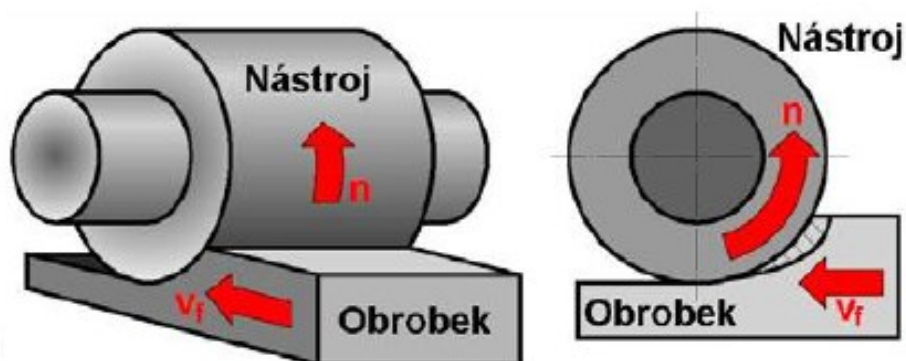
- válcové – je prováděno obvodem nástroje, kde osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou. (obr. 1.1 a 1.2)
- čelní – je prováděno čelem nástroje, kde osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje. (obr. 1.3)

Při válcovém frézování jsou umístěny zuby pouze na obvodu nástroje. U tohoto typu frézování se hloubka řezu nastavuje kolmo na osu frézy a kolmo na směr posuvu. To znamená, že obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení nástroje. Používají se válcové a tvarové frézy. [1]

Podle smyslu otáčení nástroje rozdělujeme válcové frézování na: [1]

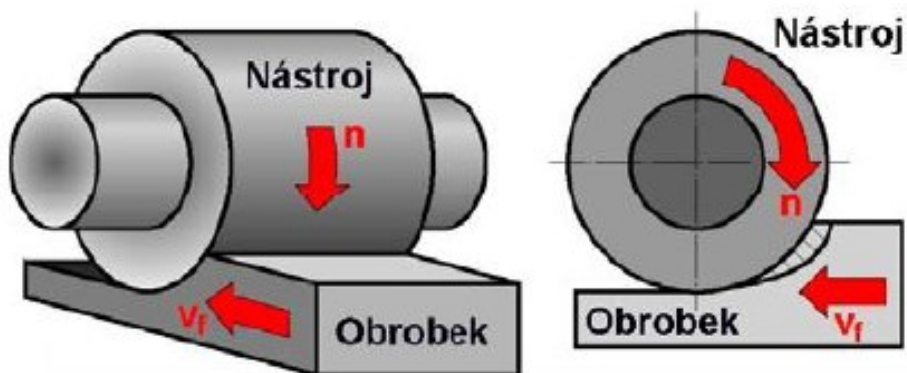
- nesousledné (obr. 1.1)
- sousledné (obr. 1.2)

U **nesousledného (nesouměrného)** frézování je směr rotace nástroje prováděn proti směru posuvu obrobku, u kterého obrobená plocha vzniká v důsledku vnikání řezného nástroje do obrobku. Pro tento typ válcového frézování je charakteristické, že tloušťka odebírané třísky nástrojem se mění od nulové hodnoty na maximální hodnotu. Z počátku frézování, kdy dochází k vnikání nástroje do obrobku, je materiál břitem pouze stlačován. Až po dosažení určité velikosti tloušťky odřezávané vrstvy dochází k jejímu oddělení od materiálu. To je způsobeno tím, že ostří frézy nemá ostrou hranu, ale hrana je zaoblená o poloměru  $R = 8$  až  $30$   $[\mu\text{m}]$ . Při nesousledném frézování vznikají deformace a silové účinky, které mají za následek zvýšené opotřebení břitu. [1]



Obr. 1.1 Válcové nesousledné frézování [1]

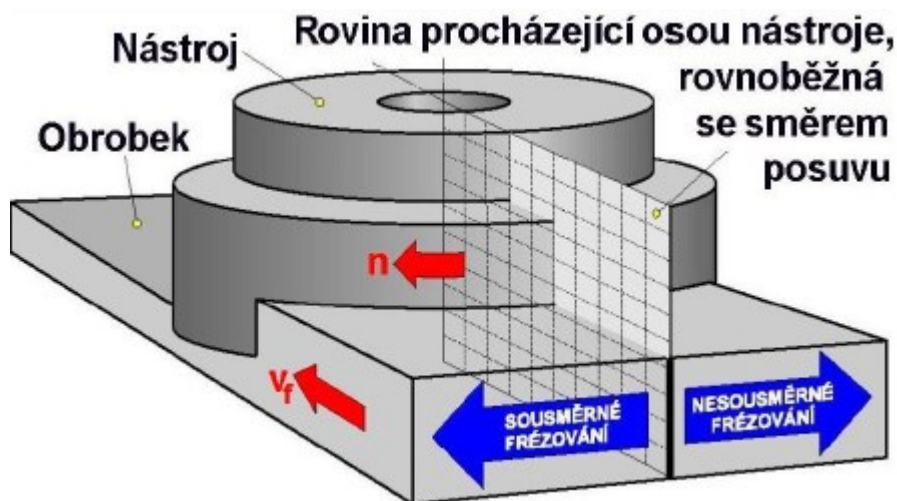
U **sousledného (souměrného)** způsobu frézování je smysl rotace nástroje takový, že se nástroj pohybuje ve směru posuvu obrobku. U tohoto typu frézování se tloušťka odebírané třísky mění opačně než u nesousledného frézování, a to z maximální hodnoty do hodnoty nulové. Pro provádění sousledného frézování musí být splněna podmínka, která zabraňuje poškození nástroje nebo stroje. Touto podmínkou je, že frézka musí být přizpůsobena tak, aby se zamezilo vůli a předpětí mezi posuvným šroubem a maticí stolu. Při způsobu sousledného frézování je dosahováno vyšší trvanlivosti břitu. [1]



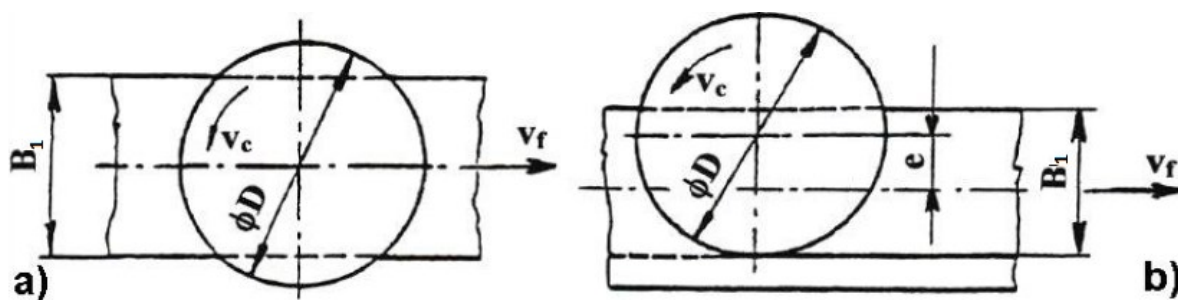
Obr. 1.2 Válcové sousledné frézování [1]

Při **čelním frézování** jsou břity umístěny na obvodu, ale i na čele nástroje. Čelní frézování rozdělujeme do dvou základních skupin podle polohy osy rotace frézy vzhledem k obráběné ploše: (obr. 1.3) [1]

- symetrické frézování, při kterém prochází osa nástroje středem frézované plochy. (obr. 1.4a)
- nesymetrické frézování, při kterém je osa nástroje mimo střed frézované plochy. (obr. 1.4b)



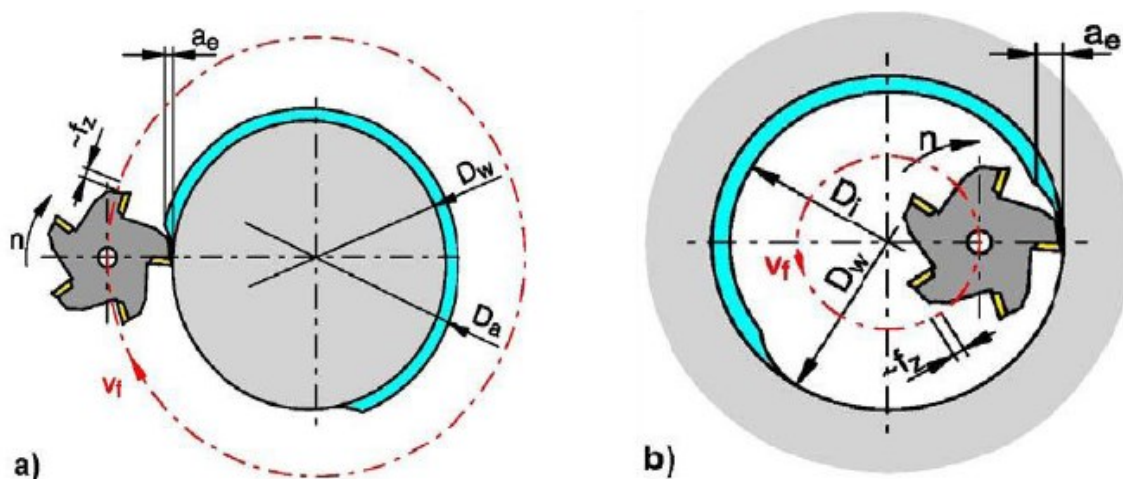
Obr. 1.3 Čelní frézování [1]



Obr. 1.4 Čelní frézování a) symetrické, b) nesymetrické [1]

Výše zmíněné způsoby rovinného frézování se označují jako základní, od kterých jsou dále odvozeny následující způsoby rovinného frézování: [1]

- okružní – je frézován obvodem rotačního nástroje obrobku, který je také rotačního tvaru.
- planetové – stejně jako okružní jsou vhodné pro obrábění vnějších i vnitřních ploch. (obr. 1.5)



Obr. 1.5 Planetové frézování, a) vnější, b) vnitřní [1]

## 1.2. Kopírovací frézování

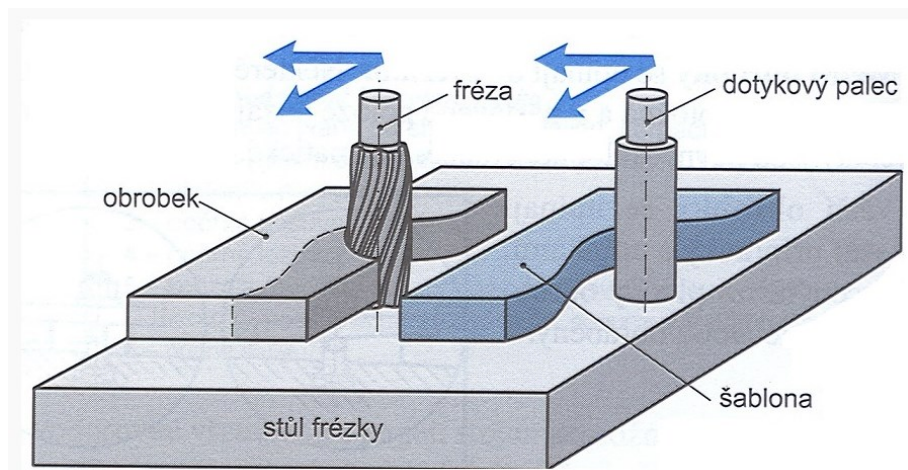
Metodou kopírovacího frézování se vytvářejí tvarové plochy. Pojem tvarové plochy se dají definovat jako plochy různých tvarů, mezi které se dají zařadit např. zápustky, formy a tvarově složité nástroje. Frézování těchto druhů tvarových ploch se provádí na kopírovacích nebo CNC frézkách. Vhodnými nástroji jsou stopkové frézy s půlkruhovými břity a stopkové frézy s kruhovými vyměnitelnými destičkami. U tohoto principu se přenáší tvar vyráběné součásti buď pomocí dotykového hrotu šablony (u starších metod), nebo v současnosti převedením 3D modelu pomocí softwaru do řídicího systému stroje. [12]

Při kopírovacím frézování často představuje dráhu nástroje kombinace vzestupného a sestupného pohybu frézování. Je zapotřebí mnoho nežádoucích nájezdů a výjezdů ze záběru, které způsobují průhyb nástroje a na obrobené ploše zanechávají výškové stopy. V důsledku toho se řezné síly a průhyb nástroje snižují, a tím naopak dochází na výstupu ze záběru k mírnému podřezávání obrobeného povrchu materiálu. [6]

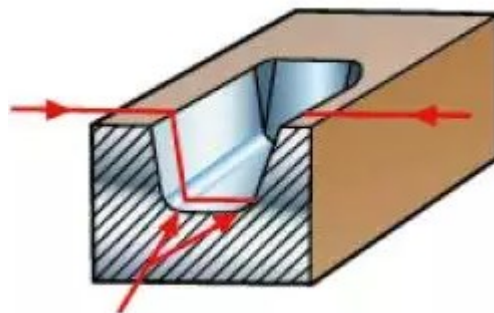
Závěry pro kopírovací frézování jsou: [6]

- Je zapotřebí vyloučit kopírovací frézování příkrých stěn, a to natolik, nakolik je to jenom možné.
- U kopírovacího frézování je riziko vylamování břitu v ose nástroje, hlavně pak v místě, kde se fréza přibližuje k oblasti dna.

- Aby nedošlo k poškození břitu v ose nástroje, je zapotřebí zajistit, aby snížení rychlosti posuvu nástroje proběhlo vždy dostatečně rychle. Z tohoto důvodu se ke kontrole rychlosti posuvu používá diagnostická funkce stroje.
- V okamžiku, kdy se fréza přiblíží ke stěně, vzniká na velké styčné délce kontakt, a tím narůstá riziko průhybu nástroje, vibrací a poškození nástroje.
- Při použití stopkových fréz s kulovým čelem je nejkritičtější místem osa nástroje, jelikož řezná rychlost je zde nulová. Proto je potřeba zabránit používání oblasti kolem středu nástroje a pro zlepšení podmínek se dá využít frézování pouze špičkou nástroje s využitím naklopení vřetena nebo obrobku.
- Pro průběh obrábění je příznivější, z důvodu tloušťky třísky a lepších řezných rychlostí, použití vzestupného kopírování podél strmých stěn.



Obr.1.6 Kopírovací frézování pomocí dotykového hrotu šablony



Obr. 1.7 Kopírovací frézování [6]



### 1.3. Rozdělení konstrukčních materiálů pro obrábění dle normy ISO 513

Norma ISO 513 je norma, která klasifikuje materiály řezné části nástroje do skupin podle jejich vhodnosti na obrábění daného konstrukčního materiálu. Klasifikuje materiály ze spékaného karbidu, řezné keramiky, diamantu a nitridu bóru. Správná identifikace obráběných materiálů podle této normy je jedna z nejdůležitějších věcí pro správnou volbu nástroje a řezných podmínek. Obráběné materiály jsou podle ISO 513 rozděleny do šesti skupin, které se rozlišují pomocí velkých písmen (P, M, K, N, S, H) a barevného označení. [2]

V tabulce podle normy ISO 513 jsou materiály, které vyvolávají stejný typ namáhání bříty, a tím vyvolávají i podobný typ opotřebení. To znamená, že prvním krokem je zařazení materiálu obrobku do jedné ze skupin. (tab. 1.1) [3]

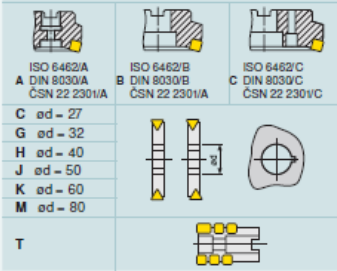
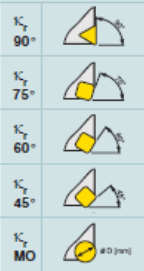
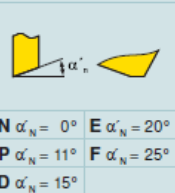
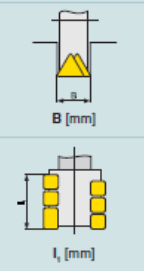

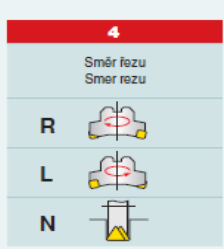
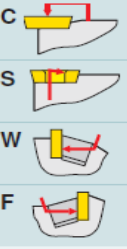
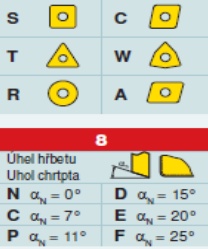
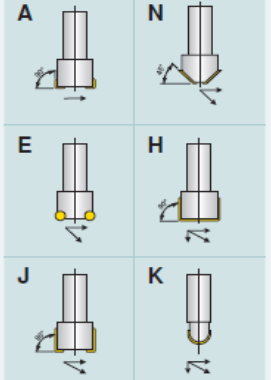
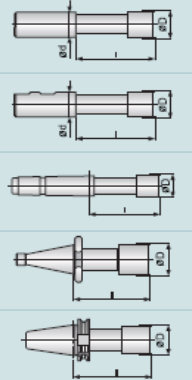
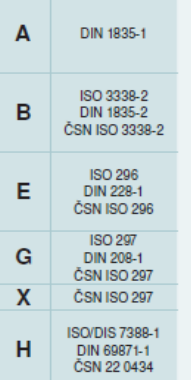
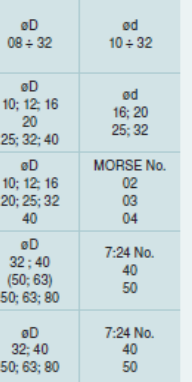
Tab. 1.1 rozdělení obráběných materiálů [2]

Rozdělení skupin, označení	Hlavní materiály
<b>P</b> (modrá)	Uhlíkové, legované, feritické a nástrojové oceli, uhlíková ocelolitina skupiny 26, nízko a středně legované ocelolity skupiny 27, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli
<b>M</b> (žlutá)	Nerezové oceli, austenitické a feriticko-austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné
<b>K</b> (červená)	Šedá litina nelegovaná i legovaná, tvárná litina, temperovaná litina
<b>N</b> (zelená)	Neželezné kovy, nekovy (hliníkové slitiny, slitiny mědi, bronz, mosaz, keramika a jiné vysoce abrazivní nekovy)
<b>S</b> (hnědá)	Super slitiny a titanové slitiny (žárupevné speciální slitiny na bázi niklu nebo kobaltu)
<b>H</b> (šedá)	Tvrdé materiály (uhlíkové nebo kalené oceli o tvrdosti 48 – 65 HRC, zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa, rychlořezné oceli, tepelně zpracované oceli, tvrzená litina, slitiny s tvrdou povrchovou vrstvou, slinuté karbidy, tvrdé niklové slitiny, atd.

## 2 Rozbor a analýza dané problematiky

### 2.1. Základní charakteristika nástroje

K charakteristice použitého nástroje na frézování je použita norma ISO 7848, která udává systém značení pro stopkové frézy. Frézy jsou značeny kombinací čísel a písmen podle jejich geometrie, upnutí *VBD*, tvaru *VBD*, atd. Tato norma toto značení vysvětluje. (obr. 2.1) [3]

<b>NÁSTRČNÉ FRÉZY</b> ISO 11529-2 DIN ISO 11529-2	<b>2</b> Typ frézy, druh a velikost upnutí Typ frézy, druh a velikost upnutí			<b>6</b> Úhel nastavení Úhol nastavenia		<b>10</b> Úhel hřbetu Úhol chrbta		<b>11</b> Délka (šířka) břitu Dĺžka (šířka) reznej hrany	
									
	A ISO 6462/A DIN 8030/A ČSN 22 2301/A C ød = 27 G ød = 32 H ød = 40 J ød = 50 K ød = 60 M ød = 80 T			K <sub>r</sub> 90° K <sub>r</sub> 75° K <sub>r</sub> 60° K <sub>r</sub> 45° K <sub>r</sub> MO		N α <sub>N</sub> = 0° P α <sub>N</sub> = 11° D α <sub>N</sub> = 15° E α <sub>N</sub> = 20° F α <sub>N</sub> = 25°			
<b>STOPKOVÉ FRÉZY</b> ISO 7848 DIN ISO 11529-2	<b>1</b> Rezný průměr [mm] Rezný priemer [mm]			<b>3</b> Pracovní počet ostří Pracovný počet rezných hran		<b>5</b> Způsob upnutí Spôsob upínania		<b>7</b> Tvar destičky Tvar doštičky	
									
	R L N			C S W F		S T R N C D E F		d [mm] 6,35 7,94 9,00 9,525 10,00 12,00 12,70 15,875 16,00 25,00 25,40 S C T W R A 09 09 16 06 08 10 12 15 12 12 22 08 16 25	
<b>STOPKOVÉ FRÉZY</b> ISO 7848 DIN ISO 11529-2	<b>1</b> 63 32			<b>3</b> 4 4		<b>5</b> 150 042		<b>7</b> 50 32	
	J A			R R		H B		S S	
	A A			R R		H B		S S	
<b>STOPKOVÉ FRÉZY</b> ISO 7848 DIN ISO 11529-2	<b>1a</b> Typ frézy a úhel nastavení Typ frézy a úhol nastavenia			<b>2a</b> Délka vyložení [mm] Dĺžka vyloženia [mm]		<b>3a</b> Typ upínací stopky Typ upínacej stopky		<b>4a</b> Velikost stopky Veľkosť stopky	
									
	A N E H J K			A B E G X H		DIN 1835-1 ISO 3338-2 DIN 1835-2 ČSN ISO 3338-2 ISO 296 DIN 228-1 ČSN ISO 296 ISO 297 DIN 208-1 ČSN ISO 297 ISO/DIS 7388-1 DIN 69871-1 ČSN 22 0434		øD 08 ÷ 32 øD 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40 øD 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40 øD 32, 40 (50, 63), 50, 63, 80 øD 32, 40, 50, 63, 80	

Obr. 2.1 Systém značení fréz – ISO norma [3]



## 2.2. Charakteristika VBD

Vyměnitelná břitová destička je vyrobena ze slinutého karbidu. Je vytvořena norma, která podrobně popisuje tvary, velikosti VBD a jejich geometrie. (ob. 2.2) [3]

1

Tvar destičky  
Tvar doštičky

2

Úhel hřbetu  
Úhol chrbta

4

Provedení  
Prevedenie

ISO

1

2

3

4

S

P

G

N

S

P

K

N

ANSI

1

2

3

4

S

P

G

S

P

K

N

3

Tolerance  
Tolerancia

Označení  
Označenie

Tolerance / Tolerancia [mm]

Tolerance / Tolerancia [palce]

m (±)

s (±)

d = I.C. (±)

m (±)

s (±)

d = I.C. (±)

A

0,005

0,025

0,025

0,0002

0,001

0,0010

F

0,005

0,025

0,013

0,0002

0,001

0,0005

C

0,013

0,025

0,025

0,0005

0,001

0,0010

H

0,013

0,025

0,013

0,0005

0,001

0,0005

E

0,025

0,025

0,025

0,0010

0,001

0,0010

G

0,025

0,130

0,025

0,0010

0,005

0,0010

J

0,005

0,025

0,05 ± 0,13

0,0002

0,001

0,002 ± 0,005

K

0,013

0,025

0,05 ± 0,13

0,0005

0,001

0,002 ± 0,005

L

0,025

0,025

0,05 ± 0,13

0,0010

0,001

0,002 ± 0,005

M

0,08 ± 0,18

0,130

0,05 ± 0,13

0,003 ± 0,007

0,005

0,002 ± 0,005

N

0,08 ± 0,18

0,025

0,05 ± 0,13

0,003 ± 0,007

0,001

0,002 ± 0,005

U

0,05 ± 0,38

0,130

0,05 ± 0,13

0,005 ± 0,015

0,005

0,003 ± 0,010

Obr. 2.2 ISO norma – systém značení VBD [3]

5							
Délka řezné hrany Dłzka reznej hrany							
d = I.C.	R	S	T	C	D	V	W
mm	palce						
3,97	5/32"			06			
5,00	-	05					
5,56	7/32"			09			03
6,00	-	06					
6,35	1/4"			11	06	07	04
8,00	-	08					
9,525	3/8"	09	09	16	09	11	16
10,0	-	10					
12,0	-	12					
12,7	1/2"	12	12	22	12	15	08
15,875	5/8"	15	15	27	16		
16,0	-	16					
19,05	3/4"	19	19	33	19		
20,0	-	20					
25,0	-	25					
25,4	1"	25	25		25		
31,75	1 1/4"	31					
32,0	-	32					

5	6	7
12	03	08
12	03	ED

5a	6a	7a
4	2	2
4	2	ED

ANSI					
5a	6a	7a			
Vepsaná kružnice Vpísaná kružnica	Tloušťka Hrúbka	Rádus špičky Rádus hrotu			
Ozn.	d = I.C.	Ozn.	s	Ozn.	r <sub>s</sub>
1	3,175 1/8"	1	1,588 1/16"	0	0,050 1/512"
(1.2)	3,969 5/32"	(1.2)	1,984 5/64"	(0.2)	0,099 1/256"
(1.5)	4,763 3/16"	(1.5)	2,381 3/32"	(0.5)	0,198 1/128"
(1.8)	5,556 7/32"	2	3,175 1/8"	1	0,397 1/64"
2	6,350 1/4"	(2.5)	4,763 3/16"	2	0,794 1/32"
(2.5)	7,938 5/16"	3	5,556 7/32"	3	1,191 3/64"
3	9,525 3/8"	4	6,350 1/4"	4	1,588 1/16"
4	12,700 1/2"	5	7,938 5/16"	5	1,984 5/64"
5	15,875 5/8"	6	9,525 3/8"	6	2,381 3/32"
6	19,050 3/4"	7	11,113 7/16"	7	2,778 7/64"
7	22,225 7/8"	8	12,700 1/2"	8	3,175 1/8"
8	25,400 1"	9	14,288 9/16"	10	3,969 5/32"
10	31,750 5/8"	10	15,875 5/8"	12	4,763 3/16"
				14	5,556 7/32"
				16	6,350 1/4"
				x	ostat.

6	
Tloušťka Hrúbka	
Označení Označenie	s
01	1,59 1/16"
T1	1,98 5/64"
02	2,38 3/32"
03	3,18 1/8"
T3	3,97 5/32"
04	4,76 3/16"
05	5,56 7/32"
06	6,35 1/4"
07	7,94 5/16"
09	9,52 3/8"

8	9
S	R

8	9
S	R

7			
Úhel nastavení Uhol nastavenia	Úhel hřbetu fazetky Uhol chrbta fazetky		
Ozn.	γ <sub>i</sub>	Ozn.	α <sub>n</sub>
A	45°	A	3°
D	60°	B	5°
E	75°	C	7°
F	85°	D	15°
P	90°	E	20°
Z	Spec./Spec.	F	25°
		G	30°
		N	0°
		P	11°
		Z	Spec./Spec.
ZZ - Speciální / Špeciálny			

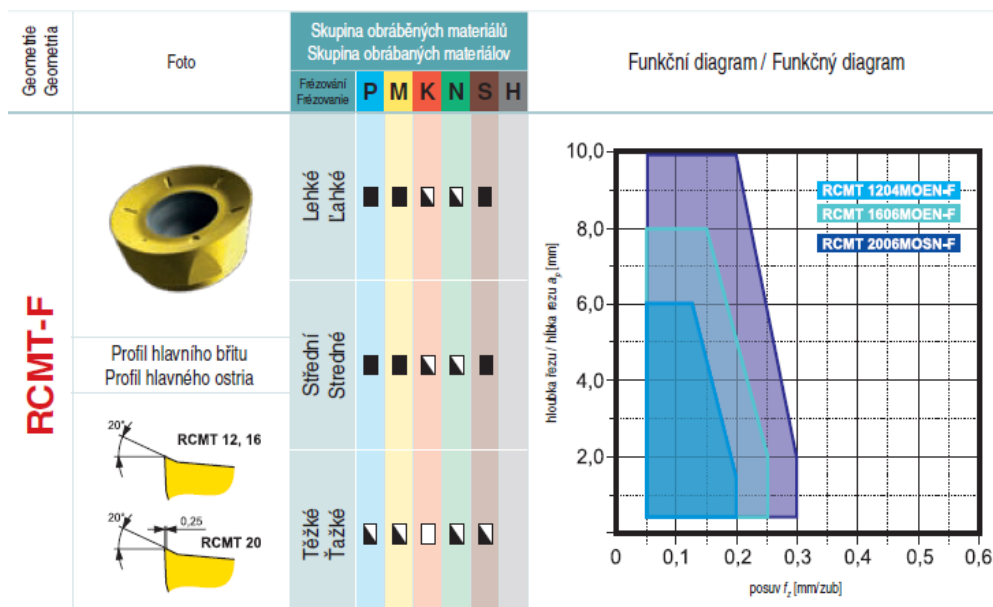
8	
Provedení řezné hrany / Provedenie reznej hrany	
Ostře hrany	Zaoblené hrany
Hrany s fazetkou	Zaoblené hrany s fazetkou
Hrany s dvojitou fazetkou	Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou

9	
Směr posuvu / Smer posuvu	
R	
L	
N	

Pokračování Obr. 2.2 ISO norma – systém značení VBD [3]

Vyměnitelná břitová destička **RCMT – F**: je to kruhová *VBD* určená pro dokončovací práce. Tato *VBD* má vysoce pozitivní geometrii a je proto vhodná pro obrábění materiálů skupin P a M, podmíněně pak pro materiály skupin K, N a S. Vhodná je zejména pro lehké obrábění. (obr. 2.3) [3]



Obr. 2.3 Geometrie frézovací *VBD*, RCMT-F [3]

### 2.3. Základní charakteristika obráběného materiálu

Zkoušky nástrojů byly prováděny na uhlíkové oceli jakosti 12 050, ale v jednotlivých zkouškách se tato ocel lišila v doplňkové číslici. Tyto oceli byly použity pro funkční zkoušky a pro zkoušky trvanlivosti. Pro funkční zkoušky byla použita uhlíková ocel 12 050.1 a pro zkoušky trvanlivosti ocel 12 050.9.

Tab.2.1 Označení stavu oceli podle tepelného zpracování [13]

Doplňková číslice	Stav oceli, dané tepelné zpracování
0	Tepelně nezpracovaný
1	Normalizačně žíhaný
2	Žíhaný (s uvedením způsobu žíhání)
3	Žíhaný naměkko
4	Kalený nebo kalený a popouštěný
5	Normalizační žíhání a popouštění
6	Zušlechťený na dolní pevnost obvyklou příslušné oceli
7	Zušlechťený na střední pevnost obvyklou příslušné oceli
8	Zušlechťený na horní pevnost obvyklou příslušné oceli
9	Stav, který nelze označit číslicí 0 – 8 (zpracovaný dle zvláštního ujednání)

Chemické složení a mechanické vlastnosti obráběných materiálů jsou uvedeny v následujících tabulkách:

Tab. 2.2 Normativní chemické složení oceli 12 050.1 [15]

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P <sub>max</sub> [%]	S <sub>max</sub> [%]	Cr <sub>max</sub> [%]	Ni <sub>max</sub> [%]	Cu <sub>max</sub> [%]
0,42	0,50	0,17	0,04	0,04	0,25	0,30	0,30
–	–	–					
0,50	0,80	0,37					

Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti oceli 12 050.1 [15]

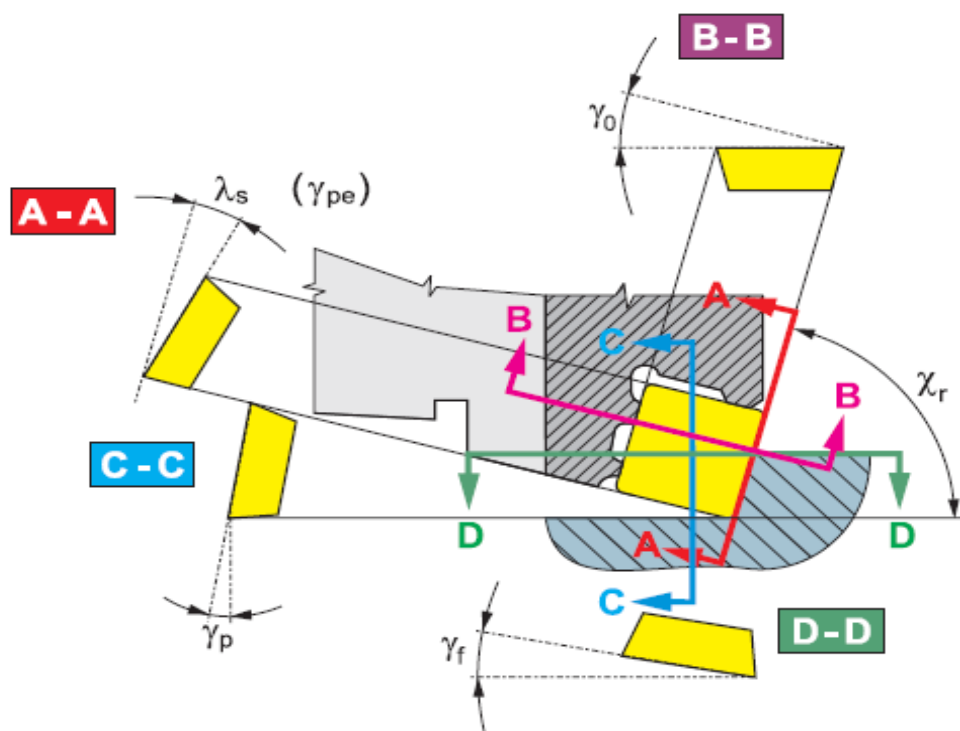
Vlastnost	Velikost
Mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	640 – 780
Minimální mez kluzu $R_e$ [MPa]	390
Minimální tažnost $A_5$ [%]	20

Tab. 2.4 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 12 050.9 [9]

Chemické vlastnosti				Mechanické vlastnosti
C [%]	Nb [%]	Ti <sub>max</sub> [%]	Mn [%]	Tvrdość HRB
0,45 – 0,50	0,01 – 0,04	0,01	0,6 – 0,75	190 – 220

## 2.4. Geometrie nástroje – úhly nástroje

Geometrie nástroje, resp. nástrojové úhly, určují polohu a orientaci lůžka, do kterého je upnuta vyměnitelná břitová destička. Pracovními neboli funkčními úhly je **úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$** , který se nachází mezi obráběnou plochou obrobku a hlavním ostřím. Určuje tloušťku a šířku třísky při určitém posuvu  $f_z$  a axiální hloubce řezu  $a_p$ . Tím ovlivňuje řezné síly a trvanlivost břitu. Zmenšením úhlu nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  bude docíleno i zmenšení tloušťky třísky. Dalším pracovním úhlem je **ortogonální úhel čela  $\gamma_0$** , který má vliv na velikost plastické deformace odřezávané třísky. Tím ovlivňuje velikost řezné síly a řezné teploty, které se zvětšováním úhlu  $\gamma_0$  zmenšují. **Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$**  je pracovní úhel, který společně s úhlem nastavení a úhlem čela určují místo prvního dotyku břitu s obrobkem. Proto ovlivňuje odolnost břitu proti křehkému opotřebení a současně má vliv na směr odchodu třísky. (obr. 2.4) [3,4]

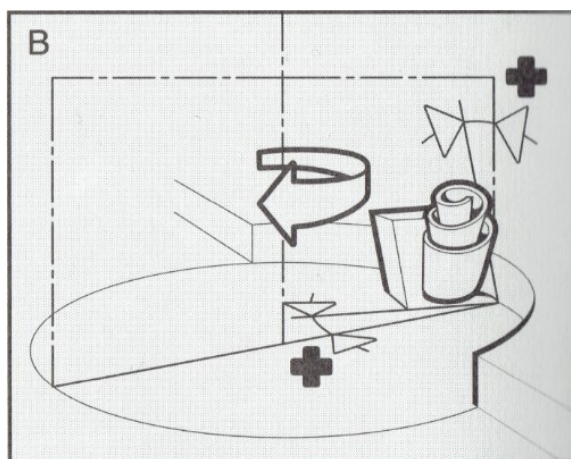


Obr. 2.4 Pracovní a konstrukční úhly frézy s VBD [3]

Hlavní rozdělení geometrie uložení VBD v nástroji je: [4]

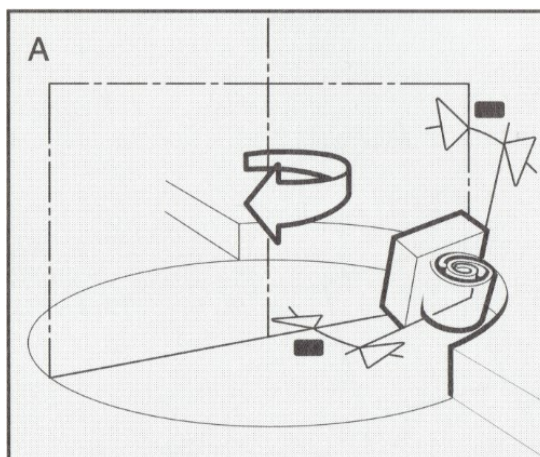
- dvojitá pozitivní
- dvojitá negativní
- pozitivně – negativní

U **dvojitě pozitivní geometrie** je radiální i axiální úhel čela pozitivní. U této geometrie je požadováno, aby bylo použito jednostranných pozitivních vyměnitelných břitových destiček. S touto geometrií fréz je možno provádět více způsobů obrábění než s frézami s dvojitou negativní geometrií. Pro stejný řez jako s dvojitou negativní geometrií je zapotřebí menšího příkonu stroje a tím je možnost použití tenčích vyměnitelných břitových destiček. Frézy s dvojitou pozitivní geometrií jsou vhodné rovněž pro obrábění tenkostěnných málo tuhých obrobků, materiálů se sklonem ke zpevňování za studena, nebo pro stroje s malým příkonem. Tato geometrie se používá zejména při obrábění slitin hliníku, tvárných ocelí, některých korozivzdorných ocelí a žáruvzdorných ocelí. (obr. 2.5)[4]



Obr. 2.5 Dvojitě pozitivní geometrie [4]

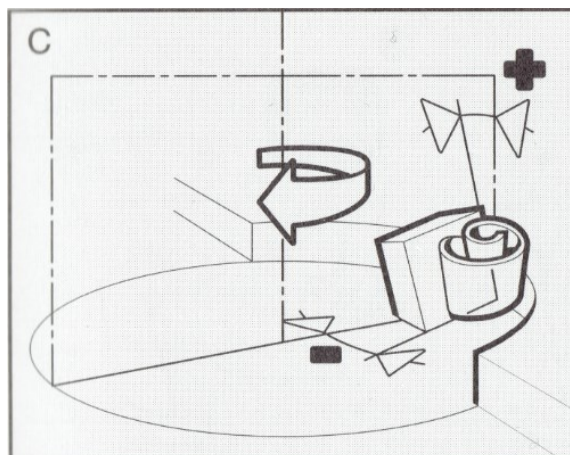
U **dvojitě negativní geometrie** je radiální i axiální úhel čela negativní. Při obrábění s touto geometrií se používají rovněž i negativní vyměnitelné břitové destičky. Jejich sklonem je získán úhel hřbetu. A to se může pozitivně projevovat na hospodárnosti obrábění, protože je možné využít obě strany vyměnitelné břitové destičky, čímž získává větší počet stabilnějších břitů. Frézy s touto geometrií jsou vhodné na obrábění tvrdých ocelí a šedých litin, při kterých dochází ke vzniku velkých mechanických zatížení břitu. Z důvodu vznikajících řezných sil tato geometrie vyžaduje vysoký příkon a stabilitu stroje. (obr. 2.6) [4]



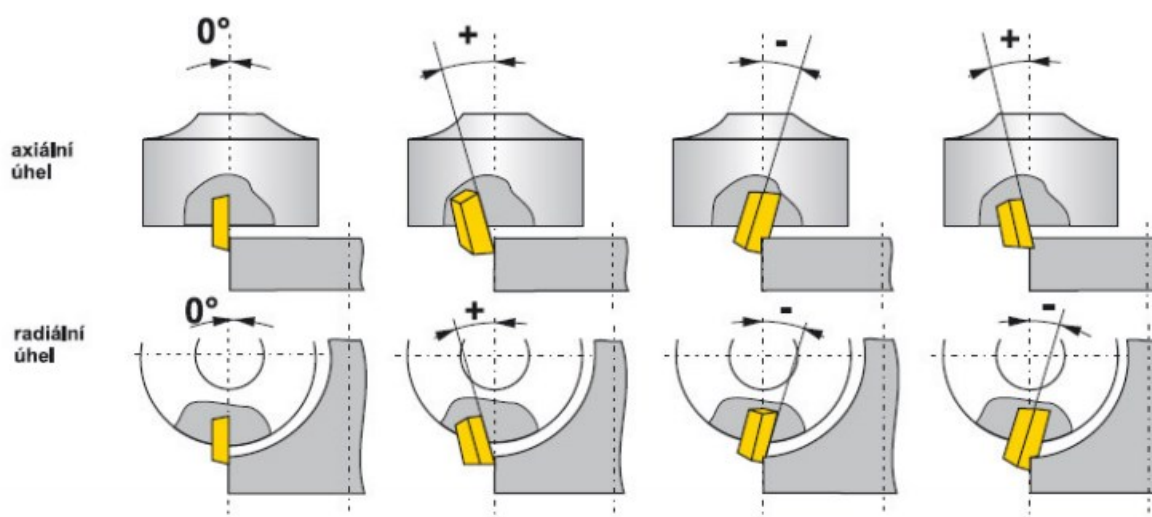
Obr. 2.6 Dvojitě negativní geometrie [4]

U **pozitivně – negativní geometrie** je axiální úhel čela pozitivní a radiální úhel čela negativní. Výkon stroje potřebný k obrábění je u pozitivně – negativní geometrie poněkud vyšší než u geometrie dvojitě pozitivní a v porovnání s geometrií dvojitě negativní je nižší. Tato geometrie umožňuje obrábění při vysokých posuvech na zub a při velkých hloubkách řezu. To je umožněno tím, že negativní radiální úhel čela má vysokou odolnost proti lomu břitu a pozitivní axiální úhel čela má schopnost dobrého utváření třísky. Frézy s pozitivně –

negativní geometrií jsou mnohostranně použitelné, a to zejména tehdy, kdy se pracuje s úhlem nastavení hlavního ostří  $45^\circ$ . Tato geometrie je vhodná pro velké délky styku břitu s obráběným materiálem. (obr. 2.7) [4]



Obr. 2.7 Pozitivně – negativní geometrie [4]



Obr. 2.8 Geometrie nástroje – místo prvního kontaktu [7]

## 2.5. Trvanlivost břitu nástroje

Pojmem **trvanlivost** se označuje doba trvání procesu řezání, která je závislá na provozuschopném stavu břitu. Je to doba, po kterou je nástroj schopen efektivním způsobem plnit požadované funkce, které jsou identifikovatelné příslušnými parametry. Trvanlivost nástroje je tedy doba od prvního nasazení do řezného procesu až do vzniku poruchy, která ukončí provozuschopnost nástroje, nebo do opotřebení břitu (parametrů jako drsnost povrchu obrobené plochy, úchylka rozměrů obrobené plochy, velikost řezné síly, apod.) na předem stanovenou hodnotu. [5]



Trvanlivost břítu nástroje je obecně závislá na řezných podmínkách. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti a jinak konstantních podmínkách se popisuje jednoduchým **Taylorovým vztahem**, který je ve tvaru: [5]

$$T = C_T * v_c^{-m} \quad [\text{min}] \quad 2.5.1$$

kde:  $T$  ....trvanlivost břítu nástroje [min]

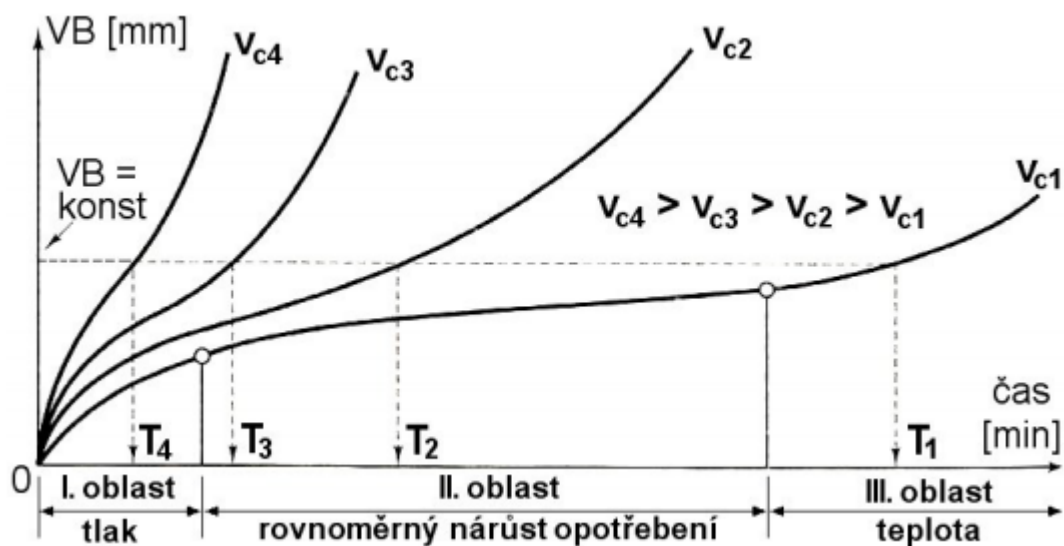
$C_T$ ...konstanta, která závisí především na materiálu obrobku a nástroje a nabývá hodnot  $10^8$  až  $10^{12}$  [-]

$m$ ....exponent charakterizující zejména vlastnosti řezného nástroje [-] (tab. 2.5)

$v_c$ ....řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ] [5]

Tab. 2.5 Velikost exponentu  $m$  [5]

materiál	exponent $m$ [-]
nástrojové oceli	10 - 8 (až 6)
rychlořezné oceli	8 - 5 (až 3)
slinuté karbidy	5 - 2,5 (až 2)
řezná keramika	2,5 - 1,5 (až 1,2)



Obr. 2.9 Závislost opotřebení na čase při různých rychlostech [14]



Poruchy, které vznikají a následně mohou ukončit provozuschopnost nástroje, se z technologického hlediska rozdělují na poruchy: [5]

- náhlá – Je to prudká změna jednoho nebo více parametrů, jako je například vylomení břitu.
- postupná – Jedná se o postupnou změnu jednoho nebo více parametrů, jako například opotřebení nástroje.

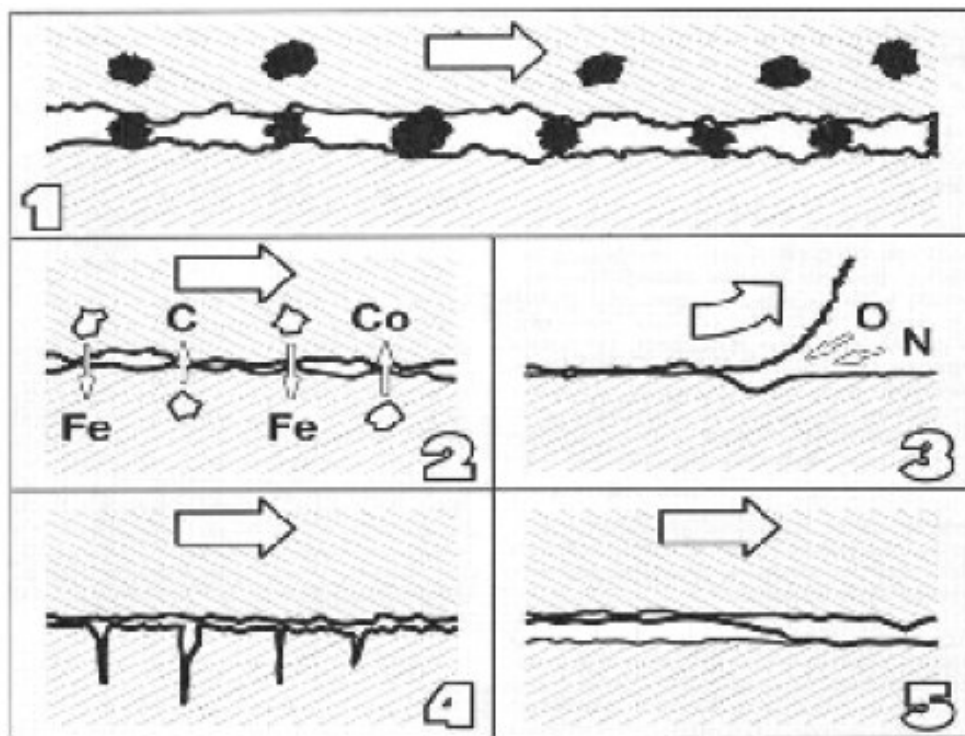
## 2.6. Opotřebení břitu nástroje

**Opotřebení břitu nástroje** je jev, který je nevyhnutelný, ale také nemusí být vždy negativním jevem. [4]

Na břitu můžeme v průběhu obrábění pozorovat vznikání základních **mechanismů opotřebení**: [4]

- **abrazivní opotřebení** – Je to rozšířená forma opotřebení. Vzniká především za působení tvrdých částic obsažených v obráběném materiálu, které porušují břit. Proto je schopnost břitu odolávat tomuto typu opotřebení závislá hlavně na jeho tvrdosti. Dobrou odolnost proti abrazivnímu opotřebení mají například řezné nástrojové materiály, které mají hustou strukturu tvrdých částic. V průběhu obrábění však nemusí odolávat jiným typům opotřebení. (obr. 2.10)
- **adhezní opotřebení** - Toto opotřebení se vyskytuje na čele břitu nástroje, a to především při nízkých teplotách obrábění. Při adhezním opotřebení dochází k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. (obr. 2.10)
- **oxidační opotřebení** – Oxidace u většiny kovů vzniká v důsledku působení vysokých teplot a okolního vzduchu. K oxidačnímu opotřebení jsou některé řezné nástrojové materiály náchylnější než jiné. (obr. 2.10)
- **difúzní opotřebení** – Vzniká při procesu obrábění za předpokladu působení chemických vlivů. Rozhodujícími činiteli pro vznik difúzního opotřebení a jeho průběhu jsou chemické vlastnosti řezného nástrojového materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku. Tvrdost řezného materiálu má na vliv tohoto opotřebení jen relativně malý podíl. Rozhodujícími parametry pro difúzní opotřebení je hlavně chemické složení řezného nástrojového materiálu a obrobku. (obr. 2.10)
- **lom** – Lom se dělí na statický a dynamický. Lom a vydrolování řezného nástroje mohou být způsobovány proměnlivými teplotami a zatížením řeznými silami.

Příčiny, které vedou k mechanické únavě, mohou být způsobené příliš velkou tvrdostí nebo pevností materiálu obrobku nebo vysokými posuvy při obrábění. K lomu může dojít také v případě příliš měkkého řezného nástrojového materiálu. (obr. 2.10)

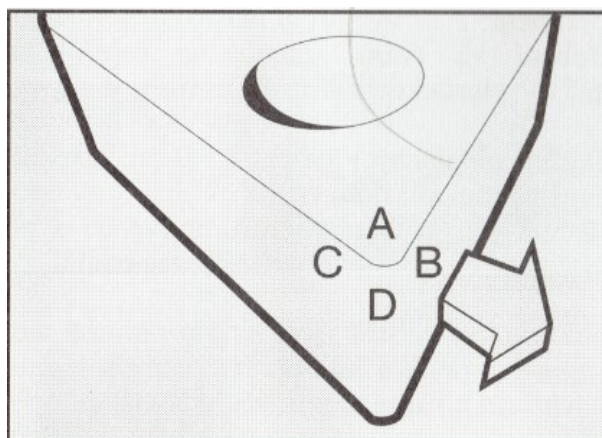


Obr. 2.10 Hlavní mechanismy opotřebení bříty nástroje, 1) abrazivní op., 2) difúzní op., 3) oxidační op., 4) lom, 5) adhezní op. [6]

**Abraze a adheze** jsou také obvykle označovány jako fyzikální mechanismy opotřebení, zatímco difúze a oxidace jsou označovány jako chemické mechanismy. Všechny mechanismy působí v průběhu času plynule, s tím, že čas vzniku jejich působení nemusí být stejný. Křehký lom je naproti tomu mechanismus, který působí náhle, a obvykle znamená okamžité ukončení činnosti nástroje. Abrazí a oxidací je opotřebováván hlavně hřbet nástroje, čelo je opotřebováváno v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Jestli se řezný nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na čele, ovlivňují různé faktory, jako například geometrie nástroje, druh operace a řezné podmínky. [6]

Základními oblastmi, kde vzniká opotřebení, jsou: (obr 2.11) [4]

- čelo (A)
- hlavní hřbet (B)
- vedlejší hřbet (C)
- poloměr špičky (D)

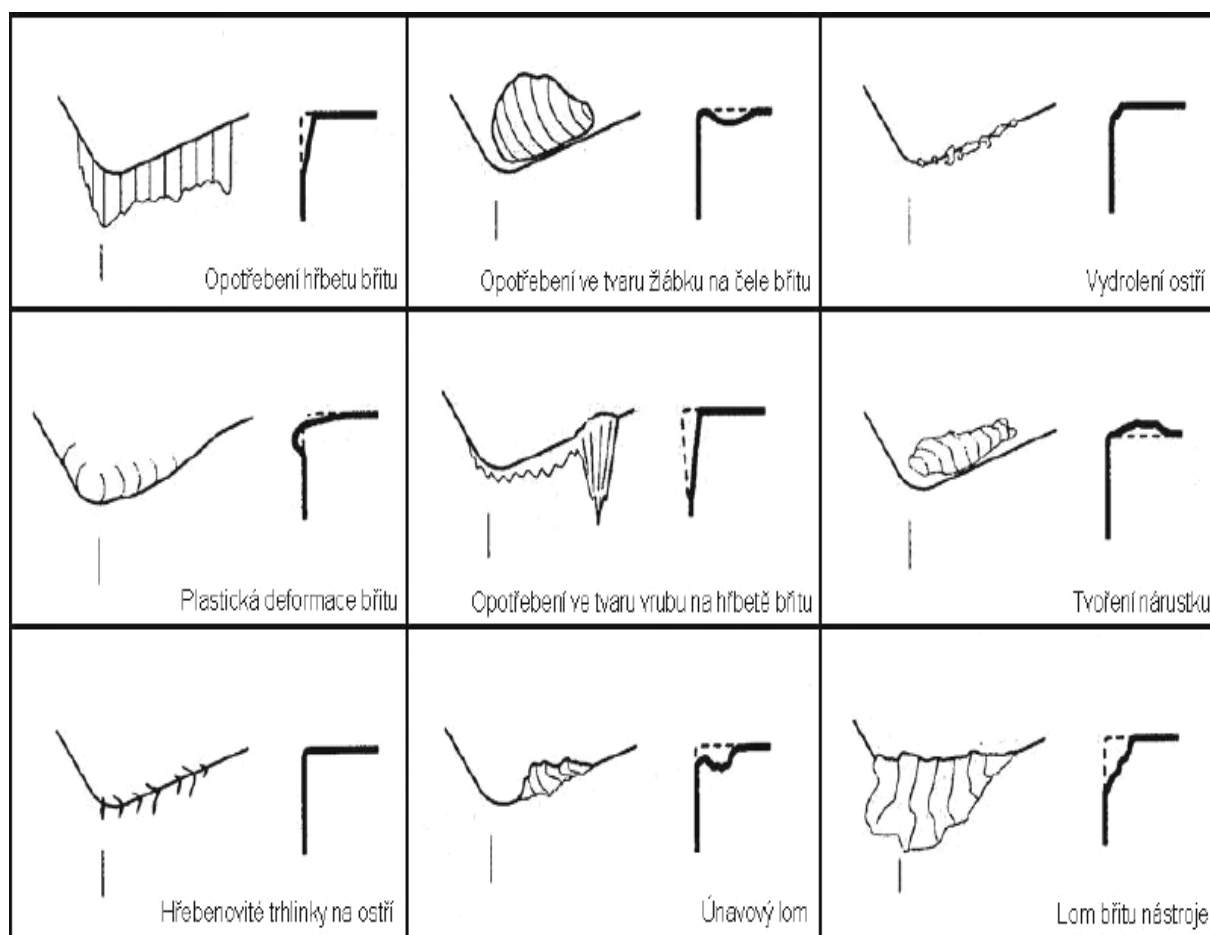


Obr. 2.11 Základní oblasti opotřebení [4]

**Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje:** Klasifikace byla vytvořena pro posouzení obráběcích operací a tím i možnost ovlivňovat produktivitu. Pro volbu správných řezných materiálů a pro určení odpovídajících parametrů obrábění jsou dále stanovena další kritéria: [6]

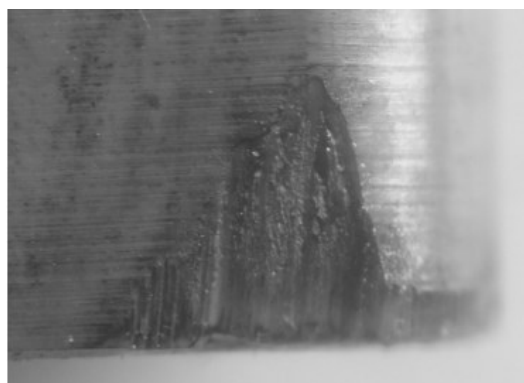
- přesnost rozměrů
- kontrolovaný odchod třísky
- jakost obrobené lochy

Schopnost klasifikovat typ opotřebení nám umožňuje kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost a její prodloužení. Každý proces má svůj optimální průběh opotřebení. Pro vznik optimálního opotřebení jsou velmi důležitými předpoklady správná volba nástroje, řezné podmínky, dobré podmínky pro obrábění a dobrá jakost materiálu obrobku. (obr. 2.12) [6]



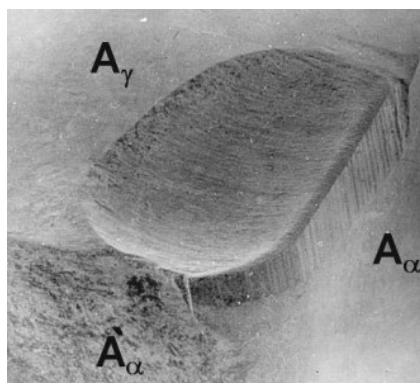
Obr. 2.12 Klasifikace typů opotřebení [14]

**Opotřebení hřbetu bříty** – patří mezi abrazivní formy opotřebení, které se projevují úbytkem materiálu na hřbetní ploše bříty. Stejněměrně zvětšující se opotřebení hřbetu bříty je považováno za ideální, ale příliš velké opotřebení má za následek zhoršení jakosti obrobeneho povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie bříty. (obr. 2.13) [4]



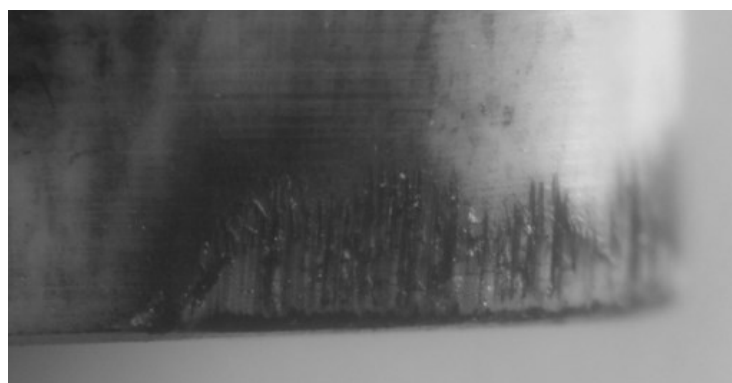
Obr. 2.13 Opotřebení na hřbetu nástroje [14]

**Opotřebení ve tvaru žlábků** – vzniká v důsledku difúzního a abrazivního mechanismu opotřebení. Vznik žlábků je vyvolán brousícím pochodem, který částečně ubírá nástrojový materiál. To je způsobeno tvrdými částicemi v obráběném materiálu, ale hlavně difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, takže v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. (obr. 2.14) [4]



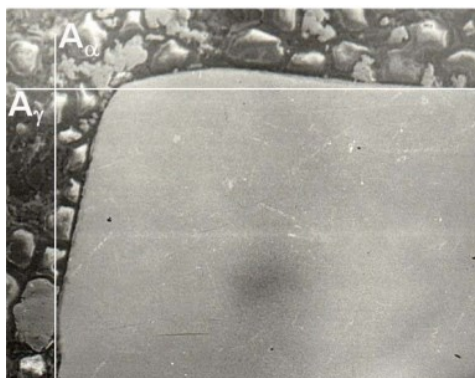
*Obr. 2.14 Opotřebení ve tvaru žlábků [14]*

**Vydrolení ostří** – jde o formu opotřebení, při které se břit namísto stejnoměrného opotřebovávání vydroluje. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení jsou přerušované řezy. (obr. 2.15) [4]



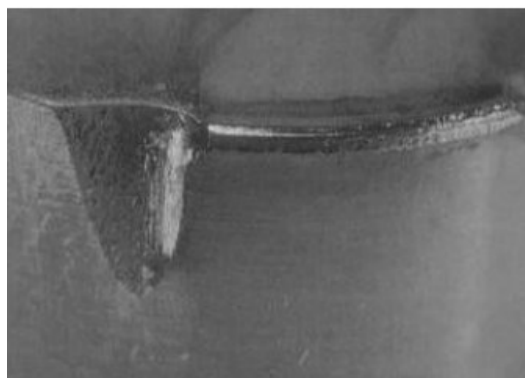
*Obr. 2.15 Vydrolení ostří [14]*

**Plastická deformace břitu** – vzniká hlavně působením vysokých teplot spolu s působením řezných tlaků. Toto působení vyvolává obrábění vysokými řeznými podmínkami a posuvy nebo obrábění tvrdých materiálů. Toto opotřebení lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří. Při vyboulení břitu se změnou geometrie zvyšuje teplota. (obr. 2.16) [4]



*Obr. 2.16 Plastická deformace břitu [14]*

**Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetě břitu** – je to typické adhezní opotřebení, ale může být způsobeno i oxidačním mechanismem. **Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetě břitu** – vzniká při utváření třísky a je způsoben mechanickým působením tvrdých částic obráběného materiálu. (obr. 2.17) [4]



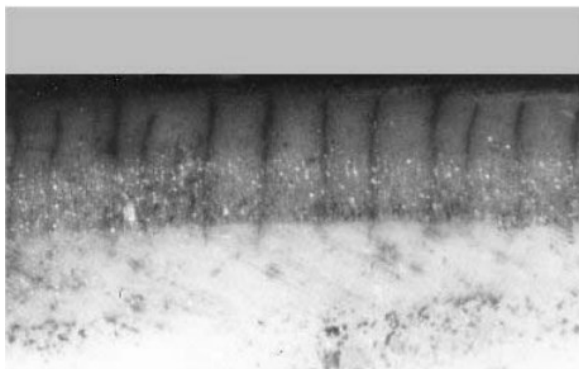
*Obr. 2.17 Opotřebení ve tvaru vrubu [14]*

**Tvorba nárůstku** – ovlivňováno hlavně teplotami a řeznými rychlostmi. Jde o nalepování obráběného materiálu na břit nástroje. Vlivem nízké teploty a vysokého tlaku dochází mezi odcházející třískou a čelem břitu k efektu svařování. (obr. 2.18) [4]



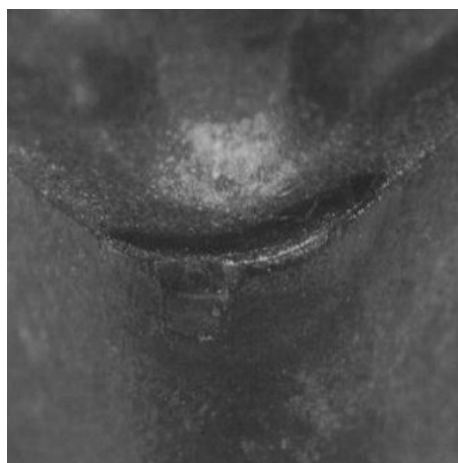
*Obr. 2.18 Tvorba nárůstků na břitu [14]*

**Hřebenovité trhliny na ostří** – vzniká velkými teplotními změnami při frézování. Náchylné na toto opotřebení jsou zejména křehké materiály. Může docházet k vylamování částic rezného materiálu mezi trhlínami a to může vyvolat náhlý lom. (obr. 2.19) [4]



*Obr. 2.19 Hřebenovité trhliny na ostří [14]*

**Únavový lom** – typický pro mimořádné změny velikosti řezných sil. Vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých druhů zatížení není samo o sobě tak velké, aby mělo za následek lom. (obr. 2.20) [4]



*Obr. 2.20 Únavový lom nástroje [14]*

**Lom břitu nástroje** – je koncem každého břitu. Úplný lom je často velmi nebezpečný, a proto by se mu mělo za každých okolností zabránit. Lom může být způsoben mnoha faktory, jako jsou změny geometrie, oslabení břitu, nárůst tepla nebo špatnou volbou materiálu. (obr. 2.21) [4]



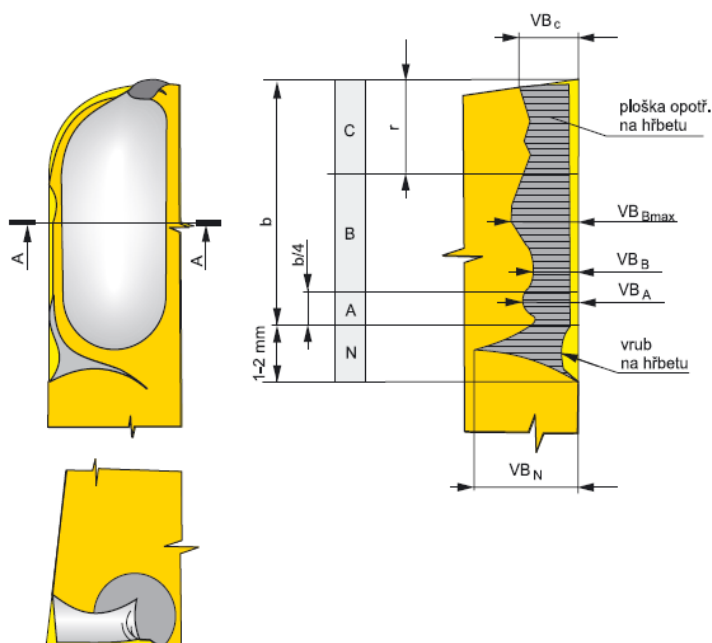
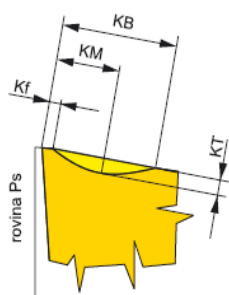
Obr. 2.21 Úplný lom bříty nástroje [14]

## 2.7. Kritéria opotřebení

Kritéria opotřebení slouží ke stanovení trvanlivosti bříty nástroje. Jedná se o hodnoty opotřebení, za kterých je nástroj považován jako otupený. Volba přípustné míry opotřebení se může hodnotit například z technologického hlediska, což znamená, že mírou opotřebení může být schopnost nástroje obrábět v požadované přesnosti a kvalitě, nebo z ekonomického hlediska, a to vychází z požadavku hospodárnosti procesu. Kritéria pro hodnocení opotřebení určuje norma ISO 3685, která obsahuje celou řadu kritérií. Mezi ty nejrozšířenější patří kritéria  $VB_B$ ,  $KT$  a  $VB_{max}$ . (obráz. 2.22) [16,17]

### ŘEZ A-A

$K_f$  = vzdálenost okraje výmolu  
 $KB$  = šířka výmolu  
 $KM$  = vzdálenost středu výmolu  
 $KT$  = hloubka výmolu



Obr. 2.22 Kritéria opotřebení bříty dle normy ISO 3685 a označení jejich charakteristických rozměrů [7]



Pro stanovení opotřebení na břitu řezného nástroje se používá řada metod: [17]

#### Přímé metody pro stanovení opotřebení

- měření vybraného kritéria opotřebení
- vážení destičky
- elektrické metody (odporové, indukční)
- ultrazvukové, radioaktivní a pneumatické

#### Nepřímé metody pro stanovení opotřebení

- měření a vyhodnocení jednotlivých složek řezné síly
- měření a vyhodnocení příkonu obráběcího stroje
- měření kmitání, teploty řezání
- měření struktury povrchu měřené plochy

### 3 Návrh a příprava experimentální činnosti

#### 3.1. Popis (analýza) nástrojů

Testované prototypy nástrojů jsou stopkové frézy, které jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 552. Nástrojová ocel je zušlechťena na tvrdost 46 – 48 *HRC* a povrch je chemicky niklovaný. Oba prototypy mají kanálky pro přívod chladicí kapaliny pro vnitřní chlazení. Nástroje jsou určeny pro kruhové vyměnitelné břitové destičky o průměru 10 mm, které jsou upínány pomocí šroubku. Nástroje se liší svojí geometrií lůžka, respektive radiálním úhlem čela, kde první nástroj má radiální úhel čela  $\gamma_f = -14^\circ$  a druhý nástroj  $\gamma_f = -10^\circ$ . Axiální úhel čela je u obou nástrojů stejný, a to  $\gamma_p = -7^\circ$  [9]

Označení prototypů je provedeno podle normy ISO 7848, viz kap. 2.1 Základní charakteristika nástroje. První prototyp nástroje má označení 20E2R029A20–SRC10–C–P01 (obr. 3.1 a 3.3), druhý 20E2R029A20–SRC10–C–P02 (obr. 3.2 a 3.3). Označení nástrojů podle normy ISO 7848 je prakticky stejné, a proto je dále pro jednoduchost uváděno pouze označení *P01* pro prototyp prvního nástroje a *P02* pro označení prototypu nástroje druhého.



Obr. 3.1 Stopková fréza P01



Obr. 3.2 Stopková fréza P02



Obr. 3.3 Stopkové frézy P01 a P02

V následující tabulce 3.1 jsou uvedeny základní parametry obou nástrojů i s označením použitých VBD.

Tab. 3.1 Základní parametry fréz [9]

Výrobce	Označení frézy	Průměr frézy [mm]	Pracovní počet ostří	Geometrie frézy [°]		Typové označení VBD
				$\gamma_p$	$\gamma_c$	
PRAMET	20E2R029A20-SRC10-C-P01	20	2	-7	-14	RCMT10
PRAMET	20E2R029A20-SRC10-C-P02	20	2	-7	-10	RCMT10

### 3.2. Experimentální zkouška

Cílem této bakalářské práce je provést pomocí experimentálních zkoušek praktické porovnání dvou prototypů frézovacích nástrojů, které mají odlišnou geometrii.

Do experimentálních zkoušek bylo v první řadě zařazeno provedení funkčních testů a následně provedení testů trvanlivosti při reálných stanovených řezných podmínkách. Tyto podmínky jsou uvedeny dále v této kapitole.

### 3.3. Strojní vybavení pro zkušební testy

Funkční testy i testy trvanlivosti byly provedeny na zkušebně obrábění v podniku Pramet Tools s.r.o. Testy se prováděly na frézovacím CNC centru MCV 1270 Power, od společnosti Kovosvit MAS, as. (obr. 3.4)



*Obr. 3.4 Frézovací CNC centrum MCV 1270 Power, Kovosvit MAS*



*Obr. 3.5 CNC, MCV 1270 Power*

V následující tabulce 3.2 jsou uvedeny technické parametry CNC centra, které jsou uvedeny v katalogu výrobce:

*Tab. 3.2 Technické parametry použitého CNC centra MCV 1270 Power [10]*

	Parametr	Velikost, značení
<b>Stroj</b>	Rozměry (d x š x v)	5000 x 3600 x 3330 [mm]
	Hmotnost	11 800 [kg]
<b>Motor</b>	Výkon motoru vřetena (S1/S6 – 40%)	28/43 [kW]
	Jmenovitý krouticí moment (S1/S6 – 40%)	406/623 [N . m <sup>-1</sup> ]
<b>Vřeteno</b>	Kuželová dutina vřetene	ISO 50 [-]
	Maximální otáčky vřetene	8 000 [min <sup>-1</sup> ]
<b>Posuv</b>	Pracovní v osách X, Y, Z	1 – 40 000 [mm . min <sup>-1</sup> ]
	Rychloposuv v osách X, Y, Z	40 [m . min <sup>-1</sup> ]
<b>Přesnost ČSN ISO 230-2</b>	Odměřování X, Y, Z	Přímé
	Přesnost nastavení polohy	0,01 [mm]
	Opakovatelnost nastavení polohy	0,004 [mm]
<b>Zásobník nástrojů</b>	Počet míst v zásobníku	24 (40)
	Maximální délka nástroje	400 [mm]
	Maximální průměr nástroje	125 [mm]
<b>Stůl</b>	Upínací plocha stolu	1500 x 670 [mm]
<b>Pracovní rozsah</b>	Osa X, Y, Z	1270 x 610 x 720 [mm]

### 3.4. Řezné podmínky pro funkční zkoušky a zkoušky trvanlivosti

#### 3.4.1. Řezné podmínky pro funkční testy

Před zahájením funkčních testů bylo zapotřebí stanovit společné parametry zkušebního frézování. Mezi tyto parametry patří řezná rychlost  $v_c$ , axiální hloubka řezu  $a_p$ , radiální hloubka řezu  $a_e$  a dále byly stanoveny posuvy na zub  $f_z$ . Tyto hodnoty jsou vyneseny v následujících tabulkách a pro získání přesných výsledků, které lze objektivně porovnat, jsou pro oba nástroje stejné.

Tab. 3.3 Řezné parametry pro první část funkčních testů

Název	Hodnota
Axiální hloubka řezu $a_p$ [mm]	1,0
Radiální hloubka řezu $a_e$ [mm]	10
Řezná rychlost $v_c$ [m . min <sup>-1</sup> ]	220
Posuvy na zub $f_z$ [mm]	0,1; 0,2; 0,3; 0,4

Tab. 3.4 Řezné parametry pro druhou část funkčních testů

Název	Hodnota
Axiální hloubka řezu $a_p$ [mm]	2,5
Radiální hloubka řezu $a_e$ [mm]	12
Řezná rychlost $v_c$ [m . min <sup>-1</sup> ]	220
Posuvy na zub $f_z$ [mm]	0,10; 0,20; 0,30; 0,40

Další parametry byly stanoveny ze vztahů:

- pro určení efektivního průměru frézy: [3]

$$D_{ef} = D - d + \left( 2 * \sqrt{a_p * (d - a_p)} \right) \quad [mm] \quad 3.4.1$$

kde:  $D_{ef}$  .... efektivní průměr frézy [mm]

$a_p$ ..... axiální hloubka řezu [mm]

$D$ ..... průměr frézy [mm]

$d$ ..... průměr vyměnitelné břitové destičky [mm]

- pro určení otáček vřetene: [3]

$$n = \frac{v_c * 1000}{\pi * D_{ef}} \quad [min^{-1}] \quad 3.4.2$$

kde:  $n$ .... otáčky vřetene [min<sup>-1</sup>]

$v_c$ .... řezná rychlost [m . min<sup>-1</sup>]

$D_{ef}$ ... efektivní průměr frézy [mm]

- pro určení minutového posuvu z posuvu na zub: [9]

$$f_{min} = f_z * \frac{v_c * 1000}{\pi * D_{ef}} * z \quad [mm \cdot min^{-1}] \quad 3.4.3$$

kde:  $f_{min}$ ..... minutový posuv [ $mm \cdot min^{-1}$ ]

$f_z$ ..... posuv na zub [mm]

$v_c$ ..... řezná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ]

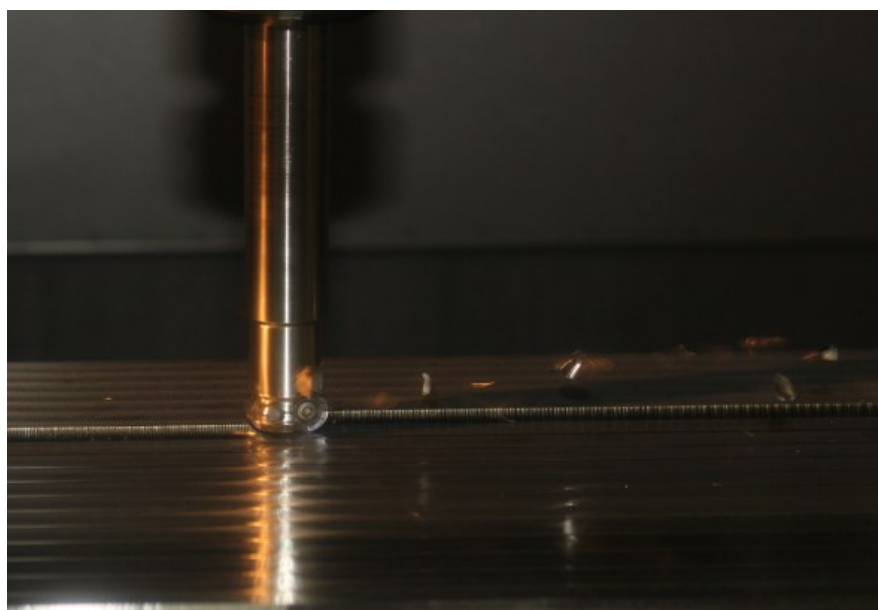
$D_{ef}$ ..... efektivní průměr frézy [mm]

$z$ ..... počet řezných VBD

Tab. 3.5 Tabulka vypočtených hodnot z předchozích vztahů

Tab. 5.10 Tabulka vypočtených hodnot z předchozích stránek

Název	Hodnota			
$a_p = 1,0$ [mm]; $a_e = 10$ [mm]; $v_c = 220$ [m . min <sup>-1</sup> ]				
Otáčky $n$ [min <sup>-1</sup> ]	4379			
Posuv na zub $f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
Posuv $f_{min}$ [mm . min <sup>-1</sup> ]	876	1752	2627	3503
$a_p = 2,5$ [mm]; $a_e = 12$ [mm]; $v_c = 220$ [m . min <sup>-1</sup> ]				
Otáčky $n$ [min <sup>-1</sup> ]	3755			
Posuv na zub $f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
Posuv $f_{min}$ [mm . min <sup>-1</sup> ]	751	1502	2253	3004



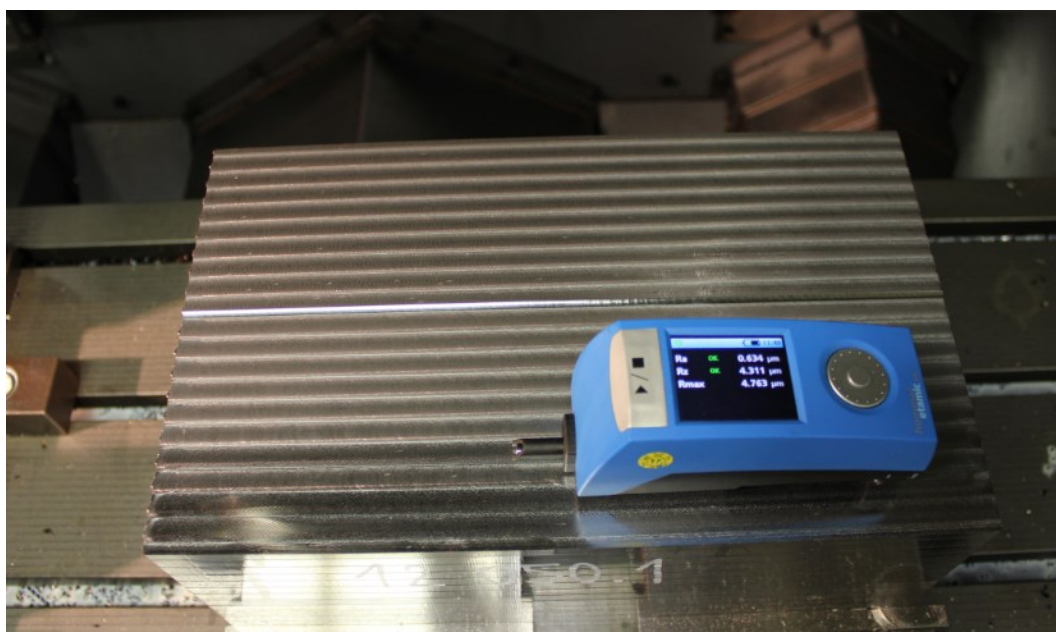
Obr. 3.6 Fréza za chodu při funkčních zkouškách



Funkční zkoušky jsou zaměřeny na kontrolu drsnosti obrobeného povrchu. Jde o naměření a porovnání hodnot parametrů drsnosti  $Ra$  a  $Rz$ , které se měří pomocí přístroje na měření drsnosti (obr. 3.7 a 3.8). Další měřenou a porovnávací hodnotou je zatížení vřetene, které je znázorněno v systému CNC centra přímo při záběru nástroje.



*Obr. 3.7 Přístroj na měření parametrů drsnosti povrchu*



*Obr. 3.8 Měření parametrů drsnosti  $Ra$  a  $Rz$*

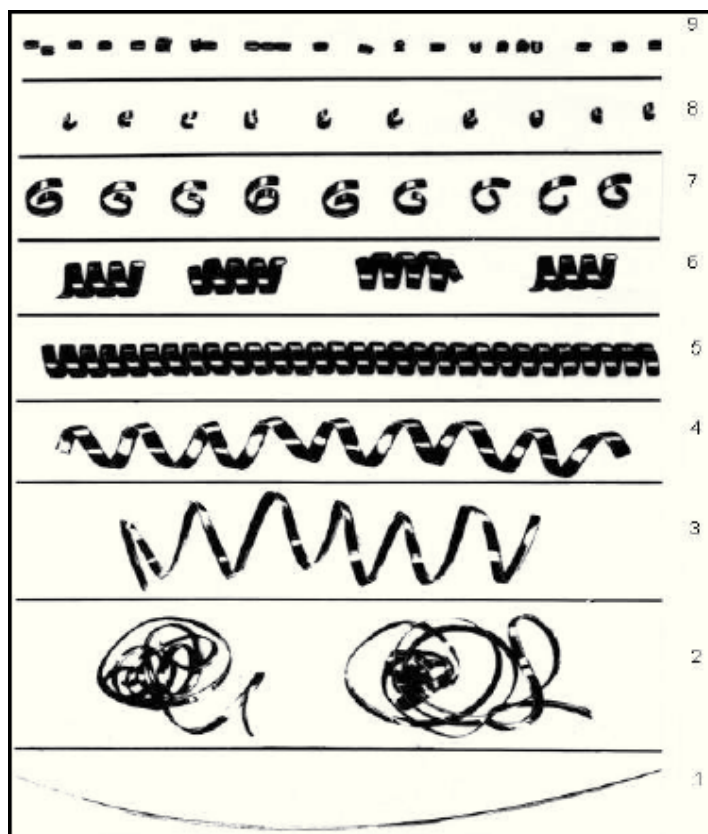


Při jakémkoli měření, které je za stejných podmínek několikrát opakováno, zjistíme, že výsledky měření se od sebe více nebo méně liší. To je způsobeno například nepřesností měřicího systému, nedodržením konstantních podmínek měření atd. To znamená, že každé provedené měření je zatíženo chybou, neboli nejistotou měření. [11]

Nejistotou měření se rozumí parametr, který charakterizuje rozsah hodnot kolem naměřených výsledků. Základní charakteristikou nejistoty je **standardní nejistota  $u$** , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky. [11]

Proto se pro ještě přesnější výsledky měření mohou tyto nejistoty vypočítat a stanovit tak jejich rozsah. Ale v případě této práce bylo pro určení této nejistoty provedeno malé množství měření, a proto se s nejistotou nepočítá.

Při funkčních zkouškách byly také v jednotlivých podmínkách odebírány třísky, z kterých se vytvořily jejich utvářecí diagramy. Při vyhodnocování třísek jde o kontrolu vzhledu, tvaru a velikosti třísky. Diagramy byly vyhodnocovány podle řazení třísek SECO Tools A.B., které třísky řadí do 9 skupin (obr. 3.9). Skupiny se dělí na dvě části, a to 1 až 5 jsou nevyhovující třísky a skupiny 6 až 9 vyhovující. Diagramy jsou přiloženy v příloze této práce



Obr. 3.9 Třídění třísek podle společnosti SECO Tools A.B. [9]

### 3.4..2. Řezné podmínky pro zkoušky trvanlivosti

Zkoušky trvanlivosti byly provedeny pro získání skutečných hodnot trvanlivosti řezné hrany *VBD*, které byly uloženy v lůžku testovaných nástrojů. Tedy pro zjištění jaká geometrie je náchylnější na opotřebení *VBD*. Pro přesné výsledky a objektivní porovnání je nutné použít stejné podmínky pro oba nástroje. Použité řezné podmínky pro oba typy nástrojů jsou uvedeny v tabulce 3.6 a použité *VBD* jsou zapsány v tabulce 3.7.

Tab. 3.6 Řezné podmínky pro zkoušku obrábění na trvanlivost

Název	Hodnota
Řezná rychlost $v_c$ [ $m \cdot min^{-1}$ ]	250
Otáčky $n$ [ $min^{-1}$ ]	4 265
Posuv na zub $f_z$ [mm]	0,25
Posuv $f_{min}$ [ $mm \cdot min^{-1}$ ]	2 132
Axiální hloubka řezu $a_p$ [mm]	2,50
Radiální hloubka řezu $a_e$ [mm]	9,00

Tab. 3.7 Použité vyměnitelné břitové destičky

Nástroj	Výrobce VBD	Označení VBD
P01	PRAMET	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310
P02	PRAMET	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310

Opotřebení na vyměnitelné břitové destičce se měří pomocí mikroskopu a to jak na hřbetě, tak na čele destičky. Opotřebení destiček je měřeno po každém ukončení určeného časového intervalu, kdy je nástroj v záběru. Při každém měření jsou pořizovány i fotografie opotřebení destičky.

## 4 Zpracování naměřených dat a jejich vyhodnocení

Experimentální zkoušky byly rozděleny na zkoušky funkční a zkoušky trvanlivosti. V této kapitole budou podrobně popsány, vyneseny a zhodnoceny naměřené výsledné hodnoty jednotlivých zkoušek. Pro přehlednost budou uvedeny v tabulkách a následně znázorněny v grafech.

### 4.1. Funkční zkoušky obrábění

Funkční zkoušky obrábění byly rozděleny na dvě části. V první části byly nástroje testovány při řezné rychlosti  $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , axiální hloubce řezu  $a_p = 1 \text{ mm}$ , radiální hloubce řezu  $a_e = 10 \text{ mm}$  a při posuvech na zub  $f_z = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 \text{ mm}$ . Při každé změně posuvu bylo provedeno měření parametrů drsnosti  $Ra$  a  $Rz$ , a to pokaždé třikrát. Zatížení vřetene bylo pozorováno také při každé změně posuvu.

Výsledky jednotlivých měření parametrů drsnosti jsou uvedeny v tabulkách 4.1 pro nástroj *P01* a 4.3 pro nástroj *P02*. V tabulkách 4.2 a 4.4 jsou uvedeny průměrné hodnoty těchto naměřených výsledků i s výsledky zatížení vřetene, z kterých je ještě stanoven aritmetický průměr výsledků pro všechny posuvy na zub.

Tab. 4.1 Podrobná měření hodnot první části funkčních zkoušek pro nástroj *P01*

Jednotlivá měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P01					
Pořadí měření	Veličina	Hodnoty			
	$a_p$ [mm]	1,00	1,00	1,00	1,00
	$a_e$ [mm]	10	10	10	10
	$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
1.	$Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]	0,893	1,641	2,272	2,654
	$Rz$ [ $\mu\text{m}$ ]	6,007	9,940	12,102	12,037
2.	$Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]	0,823	1,819	2,250	3,013
	$Rz$ [ $\mu\text{m}$ ]	5,335	11,182	12,171	13,906
3.	$Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]	0,736	2,150	2,480	3,070
	$Rz$ [ $\mu\text{m}$ ]	5,075	12,244	13,654	13,188

Tab. 4.2 Výsledky první části funkčních zkoušek obrábění pro nástroj P01

První část měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P01					
Veličina	Hodnoty				Aritmetický průměr
$a_p$ [mm]	1,00	1,00	1,00	1,00	
$a_e$ [mm]	10	10	10	10	
$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40	
$R_a$ [μm]	0,817	1,870	2,334	2,912	1,983
$R_z$ [μm]	5,472	11,122	12,642	13,044	10,57
Zatížení [%]	8	9,5	10	10,5	9,5

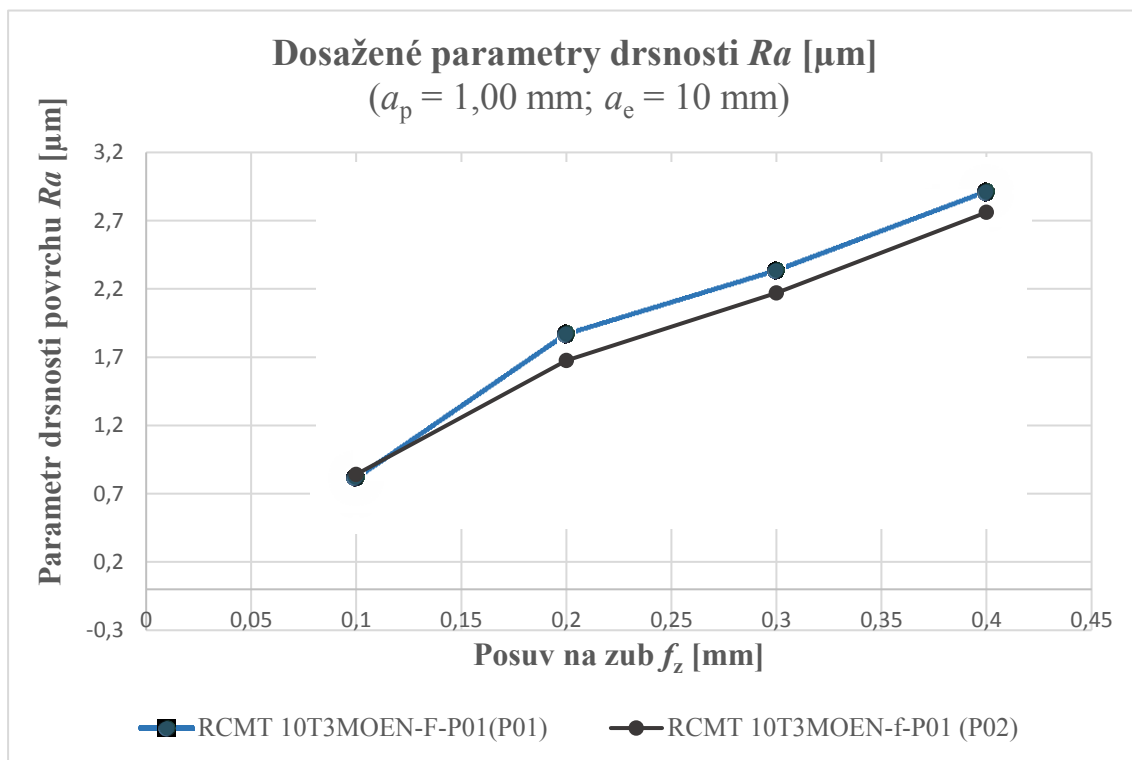
Tab. 4.3 Podrobná měření hodnot první části funkčních zkoušek pro nástroj P02

Jednotlivá měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P02					
Pořadí měření	Veličina	Hodnoty			
	$a_p$ [mm]	1,00	1,00	1,00	1,00
	$a_e$ [mm]	10	10	10	10
	$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
1.	$R_a$ [μm]	0,912	1,645	2,146	2,478
	$R_z$ [μm]	5,802	10,260	10,699	10,505
2.	$R_a$ [μm]	0,634	1,586	2,307	2,827
	$R_z$ [μm]	4,311	9,242	12,814	12,502
3.	$R_a$ [μm]	0,979	1,794	2,058	2,978
	$R_z$ [μm]	6,123	9,816	10,722	12,782

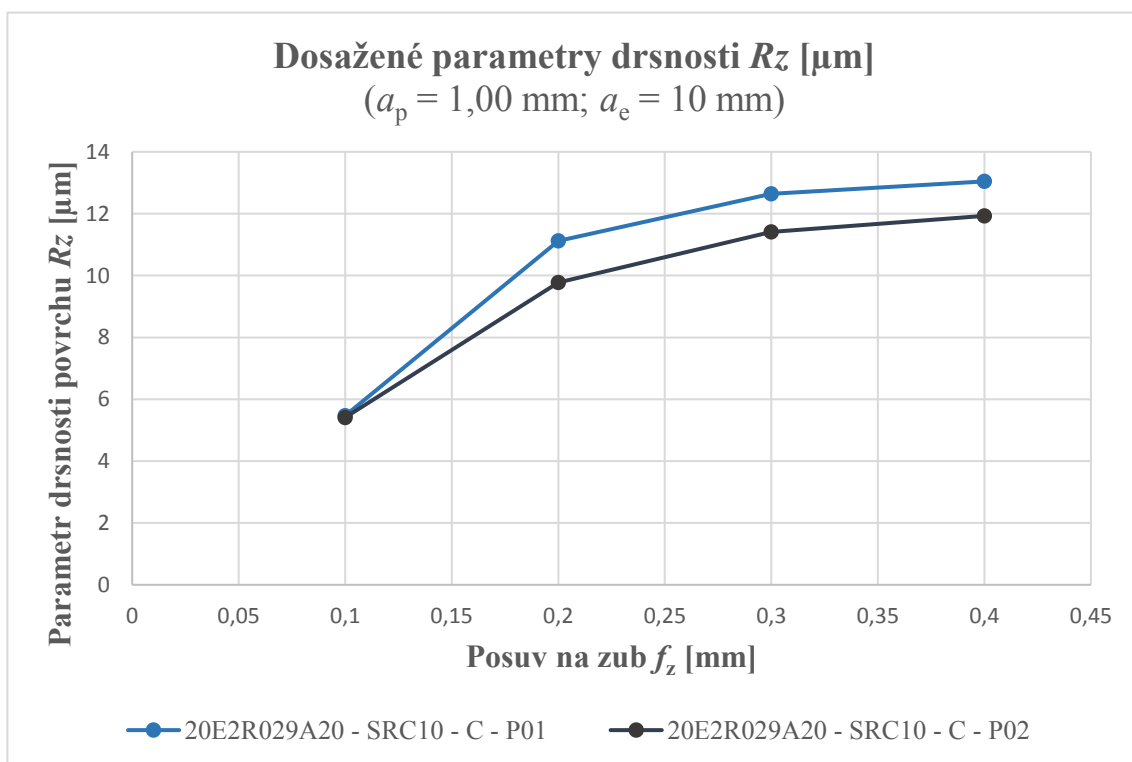
Tab. 4.4 Výsledky první části funkčních zkoušek obrábění pro nástroj P02

První část měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P02					
Veličina	Hodnoty				Aritmetický průměr
$a_p$ [mm]	1,00	1,00	1,00	1,00	
$a_e$ [mm]	10	10	10	10	
$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40	
$R_a$ [μm]	0,842	1,675	2,170	2,761	1,862
$R_z$ [μm]	5,412	9,773	11,413	11,930	9,632
Zatížení [%]	7,5	8,5	9,5	10,5	9

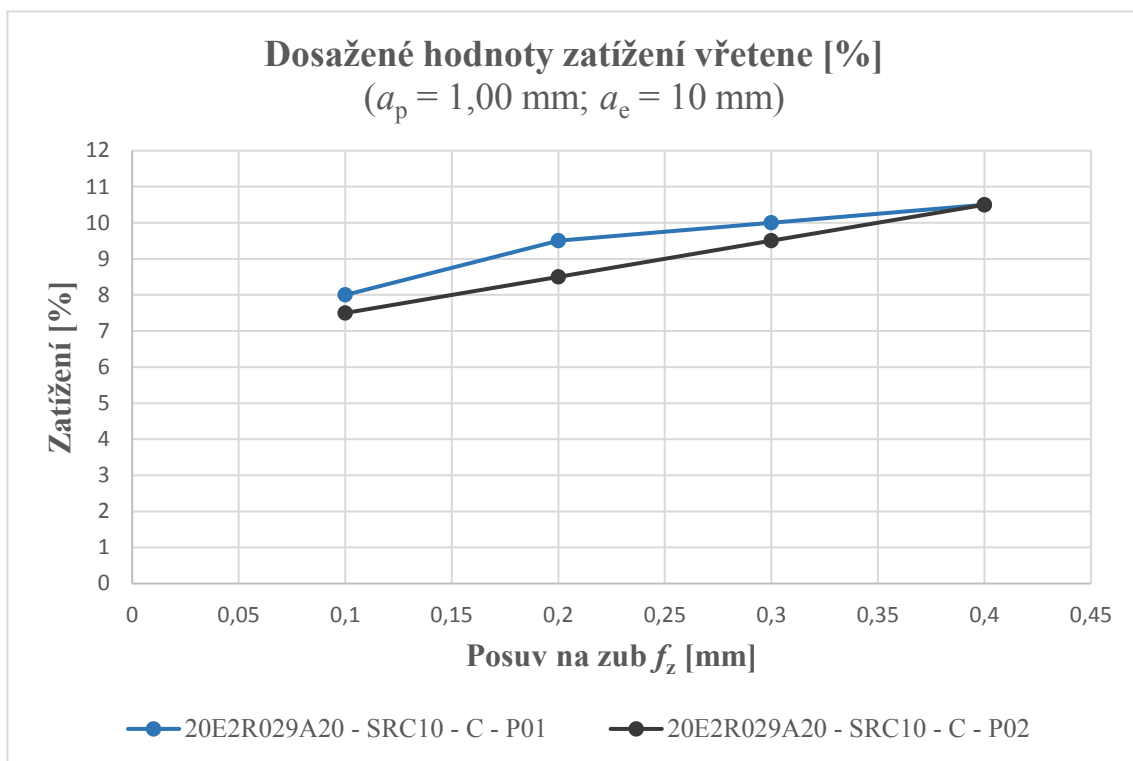
Výsledky z tabulek 4.1 a 4.3 jsou k porovnání vyneseny v následujících grafech. Graf 4.1 porovnává parametry drsnosti  $Ra$ , graf 4.2 porovnává parametry drsnosti  $Rz$  a graf 4.3 porovnává zatížení vřeten.



Graf 4.1 Parametry drsnosti  $Ra$  pro první část funkčních zkoušek



Graf 4.2 Parametry drsnosti  $Rz$  pro první část funkčních zkoušek



*Graf 4.3 Zatížení vřetene pro první část funkčních zkoušek*

Výsledky první části funkčních zkoušek jsou shrnuty v následujících bodech:

- V měření parametrů drsnosti  $Ra$  a  $Rz$  při těchto stanovených řezných podmínkách dopadl podle naměřených výsledků lépe nástroj  $P02$ , jehož průměrné výsledky byly  $Ra = 1,862$   $\mu\text{m}$ ,  $Rz = 9,632$   $\mu\text{m}$ , zatímco nástroj  $P01$  dosahoval větších parametrů drsnosti, a to  $Ra = 1,983$   $\mu\text{m}$  a  $Rz = 10,57$   $\mu\text{m}$ .
- V porovnání zatížení vřetena při stejných stanovených řezných podmínkách bylo menší zatížení vyvinuto nástrojem  $P02$ , které dosahovalo zatížení vřetena 9 %. Nástroj  $P01$  dosahoval zatížení vřetena 9,5 %.

Druhá část funkčních zkoušek probíhala za stejné řezné rychlosti  $v_c$  jako v první části, a to za 220 m . min<sup>-1</sup>, a za stejných posuvech na zub  $f_z = 0,1$ ; 0,2; 0,3; 0,4 mm. Další řezné podmínky už byly odlišné, a to axiální hloubka řezu  $a_p = 2,50$  mm a radiální hloubka řezu  $a_e = 12$  mm. Měření hodnot a jejich úpravy potřebné k porovnání byly prováděny stejně jako v první části.

Jednotlivé výsledky měření jsou uvedeny v tabulkách 4.5 a 4.7. Jejich průměrné hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 4.6 a 4.8, a k porovnání jsou vyneseny v grafech 4.4; 4.5 a 4.6., kde graf 4.4 porovnává parametry drsnosti  $Ra$ , graf 4.5 parametry drsnosti  $Rz$  a graf 4.6 porovnává zatížení vřetena.

Tab. 4.5 Podrobná měření hodnot druhé části funkčních zkoušek pro nástroj P01

Jednotlivá měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P01					
Pořadí měření	Veličina	Hodnoty			
	$a_p$ [mm]	2,50	2,50	2,50	2,50
	$a_e$ [mm]	12	12	12	12
	$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
1.	$Ra$ [μm]	0,620	1,156	1,846	2,758
	$Rz$ [μm]	4,633	6,398	11,194	14,113
2.	$Ra$ [μm]	0,714	1,163	1,530	2,951
	$Rz$ [μm]	5,156	7,260	9,088	16,094
3.	$Ra$ [μm]	0,586	1,329	1,605	2,805
	$Rz$ [μm]	3,501	7,008	9,880	14,674

Tab. 4.6 Výsledky druhé části funkčních zkoušek obrábění pro nástroj P01

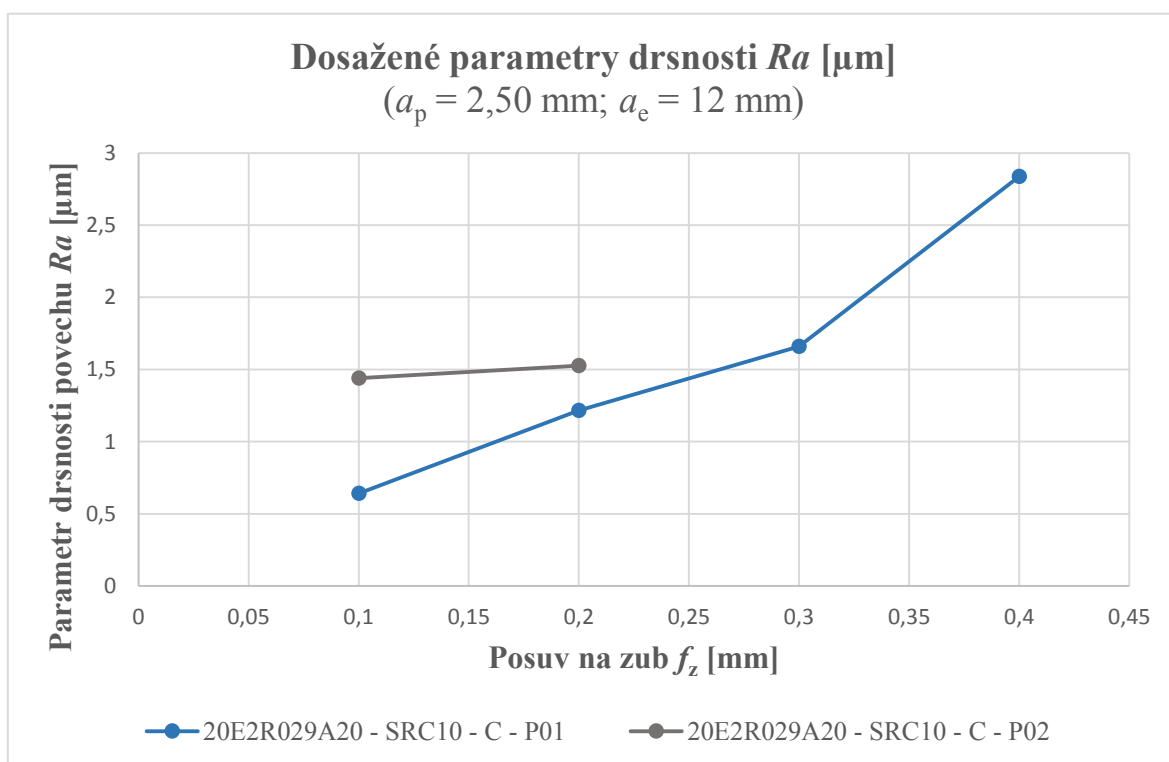
Druhá část měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P01				
Veličina	Hodnoty			
$a_p$ [mm]	2,50	2,50	2,50	2,50
$a_e$ [mm]	12	12	12	12
$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
$Ra$ [μm]	0,640	1,216	1,660	2,838
$Rz$ [μm]	4,430	6,889	10,054	14,960
Zatížení [%]	10	12,5	15,5	18,5

Tab. 4.7 Podrobná měření hodnot druhé části funkčních zkoušek pro nástroj P02

Jednotlivá měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P02					
Pořadí měření	Veličina	Hodnoty			
	$a_p$ [mm]	2,50	2,50	2,50	2,50
	$a_e$ [mm]	12	12	12	12
	$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
1.	$Ra$ [μm]	1,742	1,765	0,000	0,000
	$Rz$ [μm]	9,422	8,562	0,000	0,000
2.	$Ra$ [μm]	1,395	1,357	0,000	0,000
	$Rz$ [μm]	7,801	7,731	0,000	0,000
3.	$Ra$ [μm]	1,184	1,457	0,000	0,000
	$Rz$ [μm]	7,124	7,109	0,000	0,000

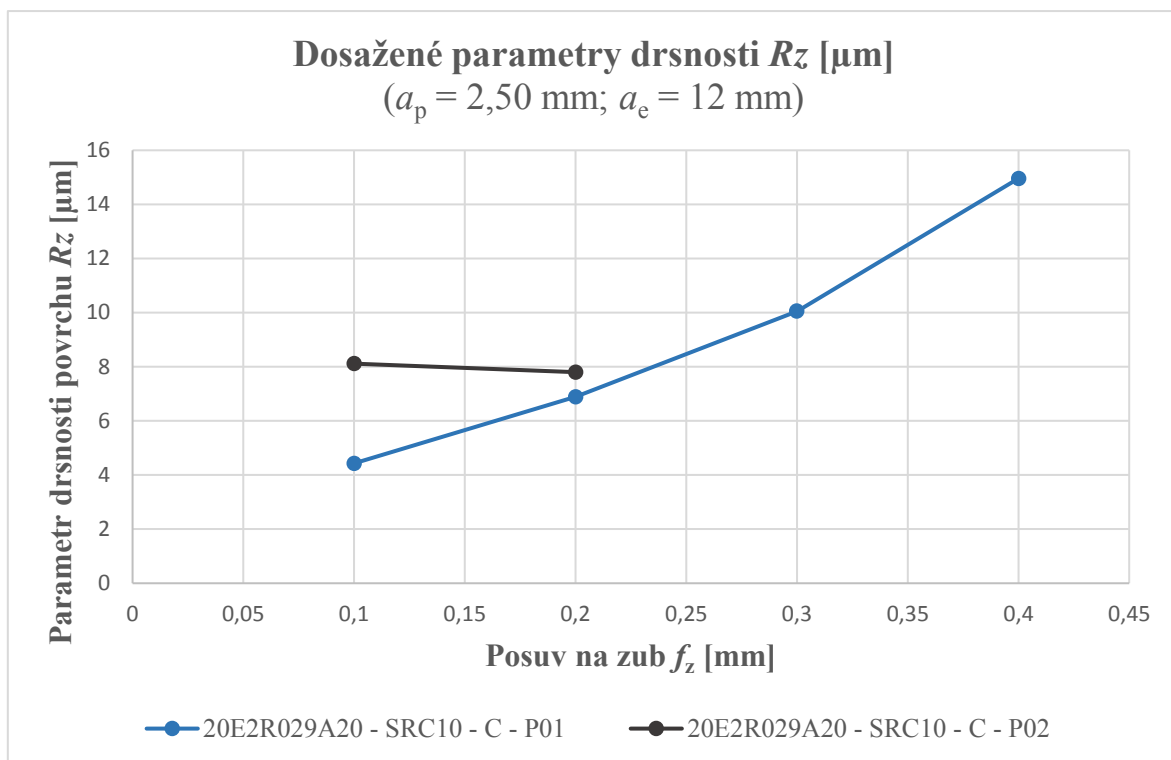
Tab. 4.8 Výsledky druhé části funkčních zkoušek obrábění pro nástroj P02

Druhá část měření – 20E2R029A20–SRC10–C–P02				
Veličina	Hodnoty			
$a_p$ [mm]	2,50	2,50	2,50	2,50
$a_e$ [mm]	12	12	12	12
$f_z$ [mm]	0,10	0,20	0,30	0,40
$Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]	1,440	1,526	0,000	0,000
$Rz$ [ $\mu\text{m}$ ]	8,116	7,801	0,000	0,000
Zatížení [%]	10,5	12,5	0	0

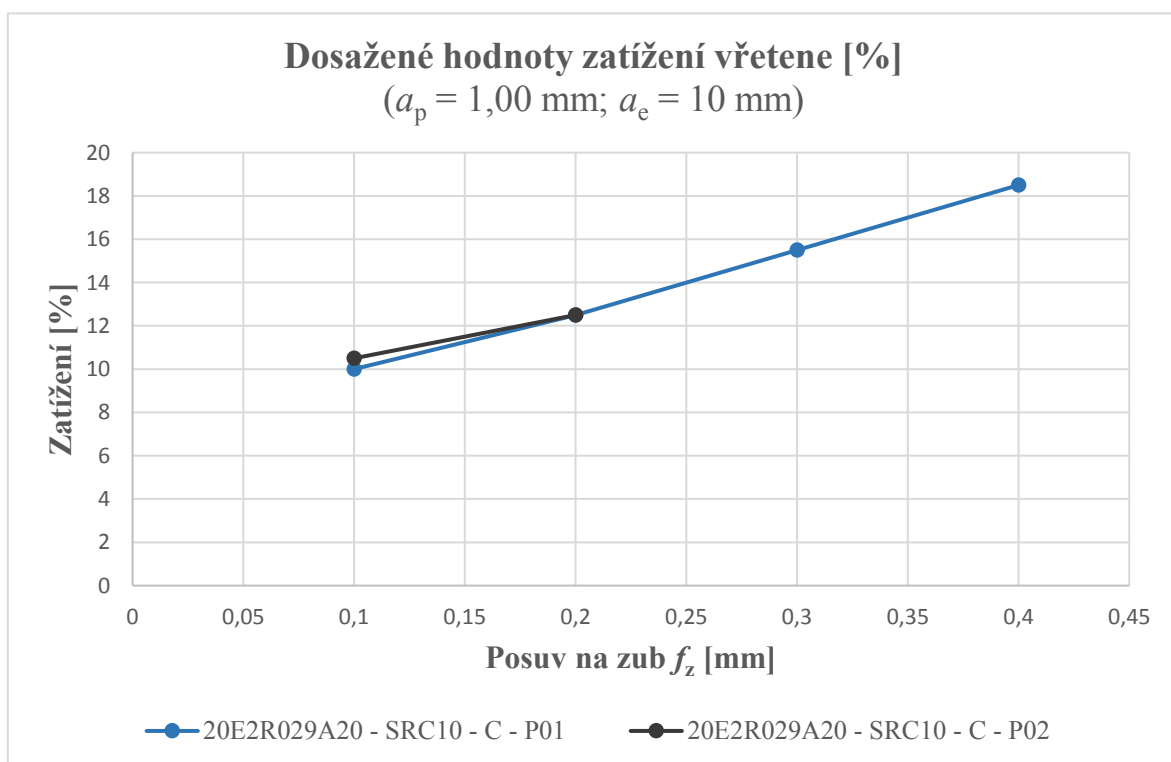


Graf 4.4 Parametr drsnosti  $Ra$  pro druhou část funkčních zkoušek





*Graf 4.5 Parametr drsnosti  $R_z$  pro druhou část funkčních zkoušek*



*Graf 4.6 Zatížení vřetene pro druhou část funkčních zkoušek*

Výsledky druhé části funkčních zkoušek jsou shrnuty v následujících bodech:

- Při frézování s posuvem na zub  $f_z = 0,1$  mm bylo dosaženo lepších výsledků parametrů drsnosti u nástroje *P01*, a to  $Ra = 0,640$   $\mu\text{m}$ ,  $Rz = 4,430$   $\mu\text{m}$ . Dosažené výsledky nástroje *P02* byly  $Ra = 1,440$   $\mu\text{m}$  a  $Rz = 8,116$   $\mu\text{m}$ .
- Menšího zatížení vřetena při posuvu  $f_z = 0,1$  mm dosahoval nástroj *P01*, který dosahoval zatížení 10 %, nástroj *P02* dosahoval zatížení 10,5 %.
- Lepších parametrů drsnosti dosahoval nástroj *P01* i při posuvu na zub  $f_z = 0,20$  mm, kdy jeho hodnoty byly  $Ra = 1,216$   $\mu\text{m}$  a  $Rz = 6,889$   $\mu\text{m}$ . U nástroje *P02* byly průměrné naměřené hodnoty  $Ra = 1,526$  [ $\mu\text{m}$ ] a  $Rz = 7,801$   $\mu\text{m}$ .
- Zatížení vřetena při posuvu  $f_z = 0,20$  [mm] bylo naměřeno pro nástroj *P01* a *P02* shodné, a to 12,5 %.
- Při posuvech na zub  $f_z = 0,3$  a  $0,4$  mm bylo jasně dosaženo lepších výsledků nástrojem *P01*, protože u nástroje *P02* nebylo možno naměřit hodnoty, protože při řezném procesu docházelo k vyjíždění nástroje z vřetena stroje do obrobku.

Odebírané třísky byly podle řazení SECO Tools A.B. vyhodnoceny pro obě části funkčních zkoušek jako třísky skupiny 8 nebo 9. To znamená, že utváření třísek bylo v obou částech funkčních zkoušek vyhovující. Vytvářené třísky byly odpovídající plynulé článkovité soudržné třísky. (příloha A, příloha B)

## 4.2. Zkoušky trvanlivosti

Při zkouškách trvanlivosti byly testovány pro každý nástroj dva vzorky. Ve všech případech byly frézy osazeny dvěma kruhovými destičkami, s označením RCMT-10T3MOEN-F-P01; M8310 z toho jedna byla zkoumaný vzorek a druhá byla pomocná *VBD* nástroje. V průběhu frézování byly po každých 7,5 minutách pořizovány fotografie čela a hřbetu *VBD*. Výsledky zkoušky trvanlivosti jsou zapsány v níže uvedené tabulce 4.9.

Tab. 4.9 Výsledky zkoušek trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček

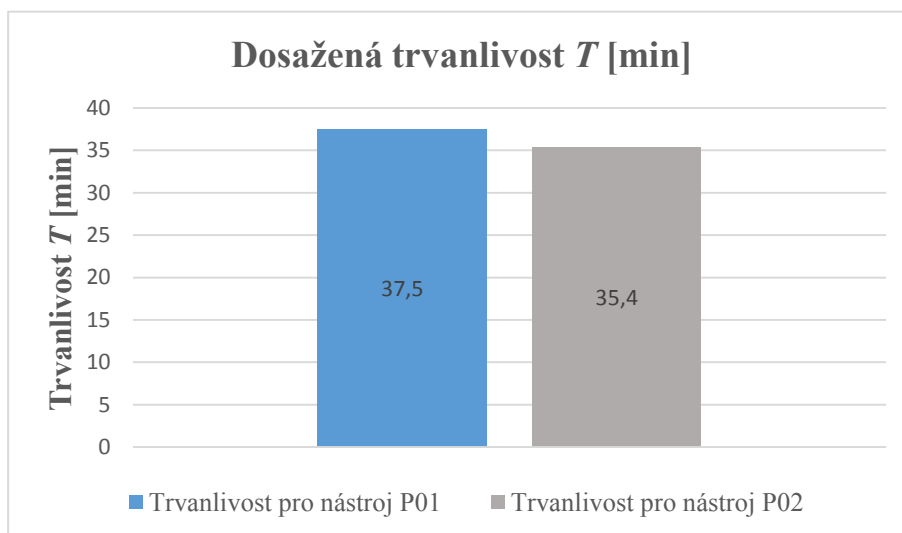
Nástroj	Použitá <i>VBD</i>	Vzorek	$T$ [min]	Průměr $T$ [min]	Součet $T$ [min]	Řezivost $K$ [%]
P01	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310	A1	37,5	37,5	75	100
		A0	37,5			
P02	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310	B9	37,5	35,4	70,7	94
		B0	33,2			

Během testu prvního nástroje *P01* došlo nejdříve k jeho destrukci kvůli výrobní vadě nástroje, kdy destička neseděla ideálně v lůžku. Proto bylo zapotřebí nasazení nového nástroje se stejnou geometrií a test provést znovu. V novém testu odjely oba vzorky nástroje 37,5 minut, to znamená, že celkem to bylo 75 minut, průměrná hodnota je 37,5minuty. Při ukončení testování nedošlo k porušení lůžka nástroje a řezná hrana byla u obou vzorků v pořádku.

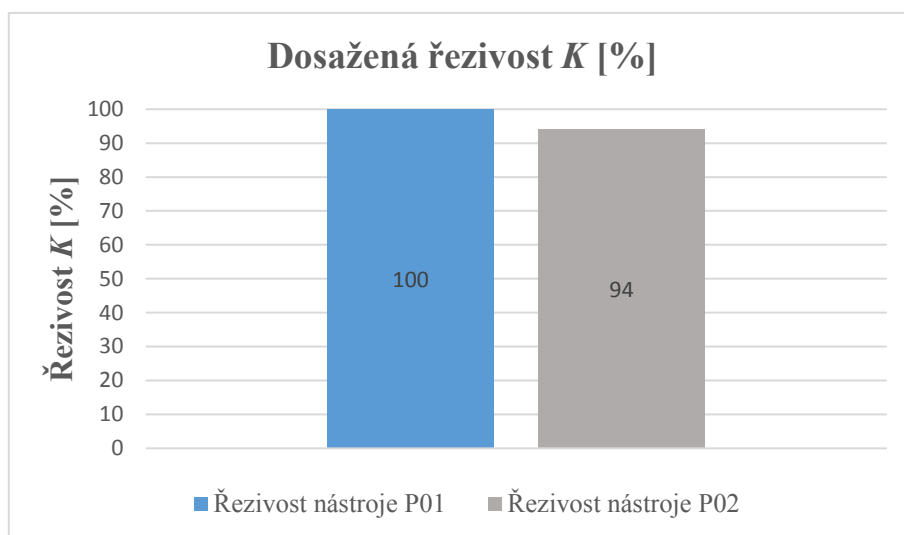
V testu druhého nástroje bylo u jednoho vzorku odjeto 37,5 minut, u druhého pouze 33,2 minut. To znamená, že bylo celkem odjeto 70,7 minut, průměrná hodnota je 35,4 minut. U obou vzorků byla na konci testování řezná hrana v pořádku, ale u obou vzorků bylo testování zastaveno v důsledku prasklého lůžka nástroje.

V grafu 4.7 je nejdříve znázorněna průměrná dosažená trvanlivost obou nástrojů a v grafu 4.8 je následně znázorněna jejich dosažená řezivost.

Průběh opotřebení čelních a hřbetních ploch v určitých časových intervalech jsou k porovnání znázorněny v tabulkách 4.10 a 4.11, a to za pomoci fotografií. Jak u čelních, tak u hřbetních ploch, jsou porovnány pouze fotografie jednoho vzorku každého nástroje.













*Graf 4.7 Dosažená trvanlivost vyměnitelné břitové destičky u nástrojů P01 a P02*

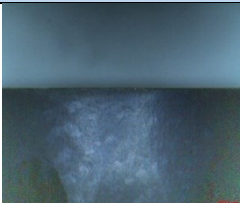






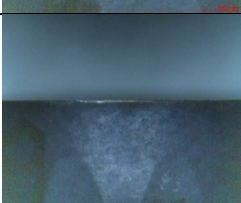
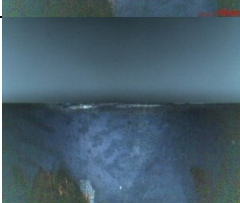



*Graf 4.8 Dosažená řezivost nástrojů P01 a P02*

*Tab. 4.10 Průběh opotřebení na čele vyměnitelné břitové destičky*

Nástroj	P01		P02	
Použitá VBD	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310		RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310	
Vzorek	A0		B9	
Čas v záběru				
7,5 minut				
15 minut				
22,5 minut				
30 minut				
37,5 minut				

Tab. 4.11 Průběh opotřebení hřbetě vyměnitelné břitové destičky

Nástroj	P01		P02	
Použitá VBD	RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310		RCMT 10T3MOEN-F-P01; M8310	
Vzorek	A0		B9	
Čas v záběru				
7,5 minut				
15 minut				
22,5 minut				
30 minut				
37,5 minut				



Obr. 4.1 Místo porušení nástroje P02 při zkouškách trvanlivosti

## Závěr a doporučení

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo porovnání dvou frézovacích nástrojů, které byly osazeny dvěma kruhovými vyměnitelnými břitovými destičkami. Nástroje k porovnání se liší svojí geometrií lůžka pro uložení vyměnitelné břitové destičky. První část práce byla zaměřena na obecnou charakteristiku frézování, geometrii nástroje, trvanlivosti a druhů opotřebení břitu. V druhé části byly provedeny porovnávací experimentální zkoušky, které byly rozděleny na funkční zkoušky obrábění a na zkoušky trvanlivosti. Před zahájením experimentálních zkoušek bylo zapotřebí stanovit řezné podmínky, za kterých budou tyto zkoušky prováděny.

Funkční zkoušky byly zaměřeny na testování a porovnávání parametrů drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  a na zatížení vřetena stroje. Tyto zkoušky byly rozděleny do dvou částí z důvodu různých řezných podmínek. První část byla provedena při axiální hloubce řezu  $a_p = 1,0$  mm a radiální hloubce řezu  $a_e = 10$  mm, zatímco ve druhé části byla axiální hloubka řezu  $a_p = 2,50$  mm a radiální hloubka řezu  $a_e = 12$  mm. Další řezné podmínky byly pro potřebu objektivního porovnání v obou částech stejné - řezná rychlost  $v_c = 220$  m . min<sup>-1</sup>, posuvy na zub  $f_z = 0,10; 0,20; 0,30; 0,40$  mm.

Při porovnání výsledků v první části funkčních zkoušek dopadl lépe nástroj 20E2R029A20-SRC10-C-P02, který dosahoval lepších parametrů drsnosti i menšího zatížení vřetena stroje, zatímco v druhé části funkčních zkoušek docházelo u tohoto nástroje při posuvech  $f_z = 0,3$  a  $0,4$  mm k vytahování nástroje z vřetena, a nebylo tak možné dokončit frézování za těchto posuvů. Tudíž nebylo možné naměřit hodnoty pro porovnání. Zatímco nástroj 20E2R029A20-SRC10-C-P01 byl schopen dokončit za všech řezných podmínek v druhé části, a to s lepšími hodnotami i při posuvech  $f_z = 0,1$  a  $0,2$  mm, kdy byly naměřeny hodnoty i pro nástroj P02.

U funkčních zkoušek byly za všech řezných podmínek odebrány třísky a následně byly vytvořeny utvářecí diagramy, na základě kterých byly porovnány a zařazeny do skupin podle SECO Tools A.B.. Třísky byly vyhodnoceny podle tvaru jako třísky skupiny 8 nebo 9, které jsou podle tohoto řazení vyhovující.

Poslední částí byly zkoušky na trvanlivost nástroje. Tyto zkoušky probíhaly také pro oba nástroje za společných řezných podmínek z důvodu objektivnosti výsledků. Řezné podmínky byly: řezná rychlost  $v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ , posuv na zub  $f_z = 0,25 \text{ mm}$ , axiální hloubka řezu  $a_p = 2,5 \text{ mm}$  a radiální hloubka řezu  $a_e = 9,0 \text{ mm}$ . Pro oba nástroje byly testovány dva vzorky. Pokaždé byla fréza osazena jedním testovaným vzorkem s jednou pomocnou *VBD*. U jednoho vzorku každého nástroje byly pořizovány fotografie pro porovnání jejich opotřebení.

Ve zkouškách na trvanlivost bylo dosaženo lepších výsledků nástrojem 20E2R029A20-SRC10-C-P01, jehož oba vzorky odjely 37,5 minuty, a to bez poškození *VBD* i nástroje. Celkový odjetý čas byl tedy 75 minut. U nástroje 20E2R029A20-SRC10-C-P02 odjel jeden ze vzorků také 37,5 minuty, ale druhý vzorek odjel jen 33,2 minut. Celkem tedy nástroj odjel 70,7 minut a oba vzorky byly ve svém čase zastaveny z důvodu prasklých zubů nástroje. Nástroj *P01* tedy dosáhl v porovnání celkové trvanlivosti o 4,3 minuty více, a na rozdíl od nástroje *P02* nebyl poškozený.

Podle všech porovnaných výsledků by se tedy dalo říci, že celkově lepších výsledků bylo dosaženo u nástroje 20E2R029A20-SRC10-C-P01, ale na základě výsledků v první části funkčních zkoušek, kde dosahoval lepších výsledků nástroj 20E2R029A20-SRC10-C-P02, bych chtěl firmě Pramet Tools s.r.o. doporučit, aby byly nástroje znovu otestovány za nových stanovených řezných podmínek, popřípadě i na jiných obráběcích materiálech.

## **Poděkování**

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Tomáši Zlámalovi, Ph.D. za jeho vstřícnou pomoc, odborné konzultace a připomínky, kterých mi bylo při tvorbě této bakalářské práce poskytnuto. Dále děkuji celé firmě Pramet Tools s.r.o., díky které mi bylo umožněno pracovat na tomto tématu, a jejím pracovníkům, kteří se na této práci podíleli. Zejména pak děkuji panu Ing. Martinu Binderovi, Ph.D. za jeho trpělivost, odborné rady a vstřícné jednání.

Děkuji i mé rodině, která mi byla morální oporou po celou dobu studií, a to i při vypracování této bakalářské práce.



## Použitá literatura

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1505-3
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] PRAMET TOOLS, s.r.o. *Katalog frézování CZ 2014*, 342 s. PRAMET TOOLS, s.r.o.,
- [4] AB SANDVIK COROMANT, *Příručka obrábění*. Praha: Scientia s.r.o. Praha, 1997, 910 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [5] KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění. 1. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [6] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L., *Technologie II – 1. díl*. VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-1641-8.
- [7] PRAMET TOOLS, s.r.o., *Příručka obrábění CZ 2004*, 101 s. PRAMET TOOLS, s.r.o.
- [8] HUMÁR, A., *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část*. VUT Brno. 2003 [online]. Dostupné z WWW: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [9] PRAMET, *Interní materiály firmy*. PRAMET TOOLS, s.r.o.
- [10] KOVOSVIT MAS, *Vertikální obráběcí centra, MCV line*. KOVOSVIT MAS, as, [online]. Dostupné z WWW: <https://www.kovosvit.cz/obrabeci-stroje/frezovaci-stroje/vertikalni-obrabeci-centra-mcv-line.html>
- [11] TICHÁ, Š., *Strojírenská metrologie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006. 112 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [12] SKOPEČEK, T., *Příspěvek k optimalizaci obrábění forem a zápusťek z tepelně zpracovaných nástrojových ocelí "HSC - tvrdé frézování"*. Západočeská univerzita v Plzni. 2005. 114 s. Dizertační práce
- [13] VELÍČKOVÁ, E., *Stroje a zařízení – Nauka o materiálu*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. [online]. Dostupné z WWW: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/sys-cs/resource/PDF/NaukaMatSkripta.pdf>
- [14] ČEP, R.; PETRŮ, J. *Úvod do teorie obrábění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. ISBN 978-80-248-3013-1
- [15] VALOŠEK, F., *Manuál ocelí*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, spol. s.r.o., 1993.
- [16] FOREJT, M., PÍŠKA, M., *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 8021423749.
- [17] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L., *Experimentální metody, Syllabus pro magisterský studijní program 23-01-T Strojní inženýrství obor strojírenská technologie*. VUT Brno, 2003.

## Seznam příloh

Příloha A	Utvářecí diagram třísek pro první část funkčních zkoušek
Příloha B	Utvářecí diagram třísek pro druhou část funkčních zkoušek